



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 20.04.02. Природообустройство и водопользование

Отделение геологии

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Использование данных дистанционного зондирования земли для исследования поисковых критериев и признаков месторождений подземных вод на площади водосборного бассейна реки Саби (Африка, Зимбабве.)</b>

УДК 556.3:550.814(689.1)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ВМ92	Мламбо Питер		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГ	Кузеванов Константин Иванович	К.Г.-М.Н		

## КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пашков Евгений Николаевич	К.Т.Н		

## ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Чистая вода	Пасечник Елена Юрьевна	К.Г.-М.Н		

Томск – 2021 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	способность и готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-2	способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, находить и принимать управленческие решения, формировать цели команды, воздействовать на ее социально-психологический климат в нужном для достижения целей направлении, оценивать качество результатов деятельности
ОПК(У)-3	готовность к изучению, анализу и сопоставлению отечественного и зарубежного опыта по разработке и реализации проектов природообустройства и водопользования
ОПК(У)-4	способность использовать знания методов принятия решений при формировании структуры природно-техногенных комплексов, методов анализа эколого-экономической и технологической эффективности при проектировании и реализации проектов природообустройства и водопользования, проектов восстановления природного состояния водных и других природных объектов
ОПК(У)-5	способность профессионально использовать современное научное и техническое оборудование и приборы, а также профессиональные компьютерные программные средства
ОПК(У)-6	способность собирать, обобщать и анализировать экспериментальную и техническую информацию

ОПК(У)-7	способность обеспечивать высокое качество работы при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов природообустройства и водопользования, при проведении научно-исследовательских работ
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>Проектно-изыскательская деятельность</b>	
ПК(У)-1	способность определять исходные данные для проектирования объектов природообустройства и водопользования, руководить изысканиями по оценке состояния природных и природно-техногенных объектов
ПК(У)-2	способность использовать знания методики проектирования инженерных сооружений, их конструктивных элементов, методики инженерных расчетов, необходимых для проектирования систем, объектов и сооружений для природообустройства и водопользования
ПК(У)-3	способность обеспечивать соответствие качества проектов природообустройства и водопользования международным и государственным нормам и стандартам
<b>Научно-исследовательская деятельность</b>	
ПК(У)-6	способность формулировать цели и задачи исследований, применять знания о методах исследования при изучении природных процессов, при обследовании, экспертизе и мониторинге состояния природных объектов, объектов природообустройства и водопользования и влияния на окружающую среду антропогенной деятельности
ПК(У)-7	способность разрабатывать и вести базы экспериментальных данных, производить поиск и выбор методов и моделей для решения научно-исследовательских задач, проводить сравнение и анализ полученных результатов исследований, выполнять математическое моделирование природных процессов
ПК(У)-8	способность делать выводы, формулировать заключения и рекомендации, внедрять результаты исследований и разработок и организовывать защиту прав на объекты интеллектуальной собственности
ПК(У)-9	способность проводить поиск, получение, обработку и анализ данных полевых и лабораторных исследований, обследований, экспертизы и мониторинга объектов природообустройства, водопользования
<b>Профессиональные компетенции университета</b>	
ДПК(У)-1	способность осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 20.04.02 Природообустройство и водопользование  
 Отделение геологии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Пасечник Е.Ю.

### **ЗАДАНИЕ** **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2BM92	Мламбо Питер

Тема работы:

Использование данных дистанционного зондирования земли для исследования поисковых критериев и признаков месторождений подземных вод на площади водосборного бассейна реки Саби (Африка, Зимбабве,)	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 24.12.2020 №359-39/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2021
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования являются прогнозные ресурсы подземных вод в водосборном бассейне реки Саве. Водосборный бассейн реки Саве расположен в юго-восточной части Республики Зимбабве.  В работе использованы материалы по геологическому изучению водосбора, данные полевых исследований и метеорологических станций, геологическая карта исследуемой территории и космические снимки миссии SRTM.
--	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1.Описать географические и физические характеристики исследуемой территории  2.Детально проанализировать факторы формирования подземных вод, связанных с водосборным бассейном.  3.Методы и результаты анализа потенциала подземных вод водосбора с использованием инструментов ГИС.  4.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение  5.Социальная ответственность  6.Раздел на иностранном языке</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1.Геологическая карта водосборного бассейна реки Саве;  2.Растровые карты факторов формирования подземных вод (составлена исполнителем ВКР);</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Пашков Евгений Николаевич</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Утятина Янина Викторовна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Use of Remote Sensing Data to Study Search Criteria and Signs of Groundwater Deposits in Save River Catchment Basin (Zimbabwe, Africa)</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГ	Кузеванов Константин Иванович	к.г.-м.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2BM92	Мламбо Питер		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 20.04.02. Природообустройство и водопользование  
 Уровень образования магистратура  
 Отделение геологии  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.05.2020	Изученность исследуемой темы	
15.10.2020	Физико - географическая характеристика водосборного бассейна реки Саве	
15.03.2021	Анализ факторов формирования подземных вод	
30.04.2021	Методы и результаты анализа потенциала подземных вод водосбора с использованием инструментов ГИС.	
31.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
31.05.2021	Социальная ответственность	
31.05.2021	Раздел на иностранном языке	

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГ	Кузеванов Константин Иванович	к.г.-м.н		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГ	Пасечник Елена Юрьевна	к.г.-м.н., доцент		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2BM92	Мламбо Питер

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>отделение геологии</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление</b>	20.04.02. Природообустройство и водопользование

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Использование данных дистанционного зондирования земли для исследования поисковых критериев и признаков месторождений подземных вод на площади водосборного бассейна реки Саби (Африка, Зимбабве)	Работа с научной литературой, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах
---	---

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. 3. Планирование и формирование бюджета разработки	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет проекта
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСТН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2BM92	Мламбо Питер		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ВМ92	Мламбо Питер

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	геологии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	20.04.02 Природообустройство и водопользование

Тема ВКР:

<b>Использование данных дистанционного зондирования земли для исследования поисковых критериев и признаков месторождений подземных вод на площади водосборного бассейна реки Саби (Африка, Зимбабве)</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются прогнозные ресурсы подземных вод в водосборном бассейне реки Саве. Водосборный бассейн реки Саве расположен в юго-восточной части Республики Зимбабве.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019); – СНиП 12-03–2001; – РД 52.88.699-2008; – ГОСТ 12.4.011-89; Правила по технике безопасности при производстве наблюдений и работ на сети Госкомгидромета
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1) Анализ выявленных вредных и опасных факторов при проведении полевых работ: - отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе; - превышение уровня шума; - превышение уровня электромагнитных излучений; 2) Анализ выявленных вредных и опасных факторов при проведении камеральных работ: - отклонение параметров микроклимата в помещении; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - превышение уровня шума;



	-превышение уровня -электромагнитных излучений; электрический ток;пожароопасность
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	-негативное влияние на окружающую среду отсутствует
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Чрезвычайные ситуации на месте работы: Наиболее типичную ЧС на на месте работы является пожара

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Пашкова Евгений Николаевича	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ВМ92	Мламбо Питер		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 124 с., 16 рис., 34 табл., 65 источников, 1 прил.

Ключевые слова: прогнозные ресурсы подземных вод, водосборный бассейн реки, факторы формирования подземных вод, дистанционное зондирование земли.

Тема выпускной квалификационной работы - Использование данных дистанционного зондирования земли для исследования поисковых критериев и признаков месторождений подземных вод на площади водосборного бассейна реки Саве (Зимбабве, Африка)

Объектом исследования являются прогнозные ресурсы подземных вод в водосборном бассейне реки Саве, который расположен в юго-восточной части Зимбабве.

Цель исследования – Определить в пределах водосборного бассейна Саве зоны, перспективные для поиска подземных вод.

В работе приводятся методика проведения исследования, результаты анализа различных растровых карт (тематических слоев), созданных на основе оценки факторов формирования подземных вод, таких как геологическое строение, уклон рельефа, высота над уровнем моря, плотность естественной дренажной сети, атмосферные осадки и характер землепользования.

Главным результатом этой работы является получение карты прогнозные ресурсов подземных вод с указанием оценочных дебитов перспективных участков для поиска месторождений подземных вод в пределах площади водосборного бассейна. Исходными данными для оценки ресурсного потенциала подземных вод в данной работе являются спутниковые снимки дистанционного зондирования Земли Landsat 8, многолетние данные гидрометеорологических наблюдений и геологические карты исследуемой территории. Основная часть исследования осуществлялось в ПО GIS.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1.Обзор литературы .....	19
1.1 Обзор потенциала и важности подземных вод.....	19
1.2 Глобальное распределение потенциального залегания подземных вод .....	20
1.3 Методы определения потенциальной глубины залегания подземных вод .....	22
2. ФИЗИКО - ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ САВЕ .....	24
2.1 Расположение исследуемой территории .....	24
2.2 Население, землепользование и социально-экономическая деятельность .....	26
2.3 Климат.....	27
2.4 Рельеф .....	28
2.5 Геологическое строение.....	29
2.6 Почвенно-растительный покров .....	30
2.7 Водные ресурсы водосбора Саве .....	32
2.7.1 Поверхностные воды.....	32
2.7.2 Гидрогеологические условия водосбора Саве.....	34
3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	38
3.1 Картирование ресурсного потенциала подземных вод .....	38
3.2 Источники данных .....	39
3.3 Формирование тематических слоев электронных карт .....	40
3.4 Вычисление весов тематических слоев .....	46
3.4.1 Стандартизация тематических слоев.....	47
3.4.2 Присвоение весов факторам .....	48
3.5. Формирование карты индекса ресурсного потенциала подземных вод .....	49
3.6. Валидация карты индекса ресурсного потенциала подземных вод .....	50
4.Результаты исследования .....	51

4.1 Картирование ресурсного потенциала подземных вод .....	51
4.1.1 Пространственное изменение атрибутов в тематических слоях .....	51
4.1.1 Пространственное распределение показателей ресурсного потенциала подземных вод в водосборном бассейне реки Саве .....	57
4.2. Валидация карт индекса ресурсного потенциала подземных вод .....	58
4.3. Разработка карты ресурсного потенциала подземных вод.....	59
Заключение .....	62
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	63
5.1 Предпроектный анализ:.....	63
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	63
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	65
5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	68
5.1.5 Методы коммерциализации результатов научнотехнического исследования .....	71
5.2 Инициация проекта.....	71
5.2.1 Цели и результат проекта .....	71
5.2.2 Организационная структура проекта.....	72
5.2.3 Ограничения и допущения проекта .....	73
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом .....	73
5.3.1 Иерархическая структура работ проекта .....	74
5.3.2 План проекта .....	75
5.4 Бюджет научного исследования.....	77
5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	77
5.4.2 Основная заработная плата исполнителей.....	78
5.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей.....	81
5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). ....	81

5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности .....	84
5.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования .....	89
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	94
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	94
6.2 Производственная безопасность .....	97
6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов и .....	97
мероприятия по их устранению в полевых условиях .....	97
6.3 Экологическая безопасность .....	104
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	107
ПРИЛОЖЕНИЕА .....	113

## ВВЕДЕНИЕ

Во многих засушливых, полузасушливых и сельских районах подземные воды являются основным источником общего водоснабжения [12]. Наличие воды надлежащего качества и объема является неотъемлемой частью поддержки социально-экономического развития и жизненно важных экосистем, которые зависят от нее. Во всем мире поверхностные водные ресурсы серьезно пострадали от таких факторов как: засухи и наводнения, в результате чего поселения стали в большей степени зависеть от ресурсов подземных вод. Примерно 75% населения Африки зависит от грунтовых вод, используемых для внутреннего потребления. Зимбабве не является исключением: более 68% ее населения считается зависимым от подземных вод. Водосбор Саве, который является местом проведения данного исследования, расположен в восточной части Зимбабве, где 70% сельского населения полагается на запасы подземных вод для домашнего использования и сельскохозяйственных целей [15].

Рост численности населения и урбанизация в сочетании с экономическим развитием приводят к увеличению потребления воды. Растущее использование и потребность в воде для ирригационных целей и всех других видов экономической деятельности приводят к высокому спросу на воду. Вода - это насущная потребность для жизни, однако она конечна и требует бережного отношения к собственной экологии [10]. В среднем территория водосборного бассейна р. Саве считается полузасушливым районом, поэтому важность водных ресурсов в нем очевидна. Согласно мировой статистике, подземные воды составляют 97% всей доступной пресной воды. В отличие от поверхностных водоемов, подземные резервуары обычно пополняются опосредованно и не могут считаться неисчерпаемыми. Таким образом, подземные воды являются основным источником пресной воды, но в то же время наиболее уязвимыми при ошибках природопользования.

Во многих развитых странах и на территории крупных городов интерес к гидрогеологическим исследованиям обусловлен разными причинами. К ним относятся минимизация проникновения соленых вод с поверхности, оценка схемы фильтрационных потоков подземных вод, количества и качества источников восполнения запасов подземных вод, а также снижение уровня грунтовых вод. Это принесло много знаний и понимания систем водоносных горизонтов, что привело к оптимизации водоотбора, снижению уровня загрязнения, обоснованному планированию, разработке и распределению подземных вод [11]. По этой причине многие города имеют достаточное уровень водоснабжения, и если бы такой же подход можно было использовать для сельских районов, то дефицит воды был бы значительно сокращен. Использование данных дистанционного зондирования земли позволяет определить наиболее перспективные участки для постановки поисковых геологоразведочных работ на подземные воды. При этом ожидается снижение риска получения безводных скважин, поскольку поиски можно сосредоточить на наиболее благоприятных участках. Данный фактор сведет к минимуму временные и материальные затраты.

### **Постановка проблемы**

В последнее время сельское хозяйство стало основным двигателем экономики многих стран из-за интенсивного орошаемого растениеводства. В Зимбабве подобное развитие привело к увеличению спроса на водные ресурсы, особенно из легкодоступных поверхностных водных ресурсов, что привело к их истощению в некоторых частях страны. С другой стороны, продолжающееся разрушение и заиливание некоторых водных объектов (см. рисунок 1), таких как плотины, реки и водохранилища, в результате воздействия климатических изменений, таких как наводнения, циклоны, ураганы и засухи, также усугубило нынешнюю проблему нехватки поверхностных вод в стране. Эти негативные события создали очень

серьезную угрозу внутреннему водоснабжению страны и сельскохозяйственному сектору, который сильно зависит от ирригации.



Рисунок 1-Заиление русла реки Сава после сильных наводнений

В результате этих и других негативных факторов серьезно возросла необходимость сосредоточить внимание на эксплуатации подземных вод в качестве альтернативного источника водных ресурсов, а также на поддержании потребностей в ирригационной воде в сельскохозяйственном секторе. Однако, количество, качество и расположение подземных вод во многих частях Зимбабве неизвестны. Об этом свидетельствует низкий коэффициент успешности бурения скважин в некоторых частях водосбора. В нем зафиксировано большое количество случаев высыхания скважин и сезонных колодцев. Это вызвано тем, что большинство участков бурения подземных скважин в водосборе часто контролировались рыночным спросом, но не указаниями на их доступность в этих окрестностях [16]. В Зимбабве ощущается острая нехватка информации о ресурсах подземных вод. Таким образом, усилиям по эффективному использованию и защите ресурсов подземных вод препятствует недостаток научных знаний для геолокации и количественной оценки ресурсов подземных вод. Поэтому надлежащее



исследование и характеристика потенциальных зон подземных вод имеет жизненно важное значение для водосбора.

### **Актуальность**

Ресурсы подземных вод являются альтернативным решением для удовлетворения растущего спроса на воду в случаях истощения запасов пресных поверхностных вод. Они обеспечивают наибольший потенциал для смягчения последствий изменения климата для социально-экономических систем. Реакция подземных вод на изменение метеорологических условий протекает существенно медленнее, чем у поверхностных. Данный фактор создает позитивные возможности для преодоления изменения климата при приемлемых затратах общества [9]. Однако его полное использование требует проведения научных исследований для определения местоположения и количественной оценки подземных вод.

Целями настоящего исследования является районирование водосборного бассейна реки Саве, оценка объемов и качества подземных вод в нем. Большие размеры площади водосбора, труднодоступность некоторых участков и, кроме того, низкая себестоимость позволили применять методы дистанционного зондирования и геоинформационных систем. Результаты исследования помогут повысить эффективность эксплуатации ценных грунтовых вод. Это позволит минимизировать временные, материальные и человеческие ресурсы, а также снизить риски получения сухих скважин, так как бурение будет производиться только в предварительно исследованных районах. Для достижения поставленной цели декомпозируем ее на задачи:

1. Дать характеристику природным условиям, влияющим на формирование запасов подземных вод: климату, рельефу, гидрографии и гидрогеологическим условиям.

2. Рассмотреть факторов восполнения запасов подземных вод, главным из которых являются атмосферные осадки.

3. Дешифровать космические снимки (Landsat-8) с целью выделения перспективных участков для поиска месторождений подземных вод.

## 1.ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 Обзор потенциала и важности подземных вод

Подземные воды играют ключевую роль в обеспечении водой различных секторов народного хозяйства во всем мире. По оценкам 2 миллиарда человек полагаются на подземные воды для удовлетворения своих основных потребностей в воде [24]. Это делает грунтовые воды самым добываемым сырьем в мире, а скорость отбора превышает 1000 км<sup>3</sup>/год. Макдональд и др. (2012) отметили, что подземные воды являются стратегическим резервом, который жизненно важен для удовлетворения потребностей населения в воде. [25]

По мнению Чикодзи, его важность связана с его способностью действовать как стратегический резерв пресной воды, нивелирующий риски при экстремальных гидрометеорологических явлениях, таких как засуха[15] Гупта подчеркнули относительную безопасность и надежность подземных вод по сравнению с поверхностными[28]. Однако подземные воды часто используются не по назначению, плохо изучены и редко хорошо управляются, несмотря на их важность жизненно важных экосистем [24]. Самое главное, что быстрый рост человеческой цивилизации оказал огромное давление на имеющиеся ресурсы подземных вод [26]. Как увеличение забора, так и загрязнение в большинстве случаев привели к добыче подземных вод и ухудшению их качества, соответственно.

Было подчеркнуто, что необходимо количественно оценить имеющиеся ресурсы подземных вод, чтобы обеспечить информированное программы управления[27]. По данным Чикодзи (2013), многие страны с серьезными проблемами истощения подземных вод имеют ограниченные данные о пространственных и временных процессах изменения запасов подземных вод[15]. Поэтому требуется тщательная характеристика ресурсов подземных

вод с помощью методов картографии подземных вод, чтобы направлять инвестиции в водоснабжение и управление ресурсами для сведения к минимуму широкомасштабного истощения. Это может позволить принять экономически эффективные меры, поскольку усилия по управлению могут быть направлены на районы с устойчивым количеством подземных вод.

## **1.2 Глобальное распределение потенциального залегания подземных вод**

Подземные воды составляют около 95% мировой пресной воды (35 млн км<sup>3</sup>), в том числе 67,8% пресной воды, которая заперта в полярных ледяных шапках [24]. Макдональд и др. (2012); благодаря обширному обзору имеющихся карт, публикаций и данных; по оценкам, общий объем запасов подземных вод в Африке составляет 0,66 млн. км<sup>3</sup>. Таким образом, Африка имеет ограниченные ресурсы подземных вод (UN-Water/Africa, 2010), которые составляют лишь 2,8% глобальных ресурсов подземных вод - 23,4 млн км<sup>3</sup> [29]. Учитывая, что более 75% населения Африки зависит от подземных вод как основного источника питьевой воды, подземные воды несут риски от чрезмерного неконтролируемого использования .

С точки зрения потенциального залегания подземные воды встречаются практически в любой точке мира и почти во всех типах геологических формаций [27]. Однако его распределение по качеству и количеству варьируется от одного места к другому и от одной геологической формации к другой [26]. ООН-Водные ресурсы/Африка (2010) указала, что распределение и качество подземных вод определяются взаимодействием природных и антропогенных факторов.

В первую очередь потенциальное залегание подземных вод зависит от геологии, геоморфологии и эффективных осадков [25]. Эти факторы, в частности, определяют пропускную способность водоносного горизонта,

эффективную пористость и подпитку грунтовых вод. Каур и Розин (2008) отметили, что системы подземных вод являются динамичными, и движение подземных вод определяется функцией гидравлического напора. Исследование также показывает, что поток может зависеть от таких факторов, как плотность сети трещин, однако выход водоносных горизонтов сильно варьируется, а значит потенциал подземных вод весьма вариабелен. Таким образом, запасы, расположенные в разных водоносных горизонтах или в разных частях одного и того же водоносного горизонта, могут использовать воду с совершенно разной емкостью и временем пребывания [24]. Моррис и др. (2003) подчеркивают, что данная характеристика важна для загрязняющих веществ, которые со временем деградируют, а также для борьбы с болезнетворными микроорганизмами [24]

Макдональд и др. (2012) указали, что подземные воды ограничены и сильно изменчивы с точки зрения их пространственного распределения. Поэтому ученым нужно обобщить гетерогенные факторы, влияющие на формирование источника подземных вод и процессы, протекающие в них. Подобный фактор очень часто может влиять на них даже на небольших участках [25]. Для этого необходимо провести анализ факторов и факторный анализ показателей, влияющих на подземные воды. Интеграция геофизических методов (например, испытания на прокачку) и современных методов (ГИС и дистанционное зондирование) может помочь устранить пробелы в объеме и качестве данных.

### **1.3 Методы определения потенциальной глубины залегания подземных вод**

Существует ряд методов, которые могут быть использованы для определения потенциальной глубины залегания подземных вод. Геофизические и геоэлектрические методы использовались в разведке подземных вод на протяжении последних лет [27]. Эти методы были применены для различных оценок подземных вод по территории всей Зимбабве [30]. Оценка системы водоносных горизонтов на территории Хараре, проведенная Бродериком (2012), показала хорошие результаты на основе использования этих методов. Однако Роско (1990) подчеркнул, что эти методы являются дорогостоящими и трудоемкими [31].

Методы анализа подземных вод эволюционировали с течением времени. В последние годы методы ГИС и дистанционного зондирования стали широко использоваться для оценки ресурсов подземных вод [27]. Исследования, проведенные в различных районах: на водоразделе Дулунг в восточной Бенгалии, в Индии, в столичном регионе Булавайо (Зимбабве) и в районе Западно-Камерунское нагорья успешно использованы методы ГИС и ДЗ. Эти методы менее трудоемки и дают быстрые результаты [27].

ГИС и дистанционное зондирование используют геоморфологические и геофизические факторы для определения глубины залегания подземных вод. Что касается надежности результатов, то практика их применения показала, что методы ГИС и дистанционного зондирования обеспечивают пространственно репрезентативные, многовременные и экономически эффективные результаты, поэтому они являются лучшими инструментами для оценки гидрогеологических процессов [26]. Однако можно отметить, что как традиционные методы, так и методы, основанные на дистанционном зондировании, должны дополнять друг друга, а не использоваться изолированно. Таким образом, в той мере, в какой традиционные методы

могут давать точные результаты, им не хватает широты охвата территории исследований. С другой стороны, методы, основанные на ГИС и дистанционном зондировании, не имеют точной количественных характеристик, поэтому они не обеспечивают оценки абсолютных объемов подземных вод. Таким образом, сочетание обоих методов может обеспечить всеобъемлющий результат с точки зрения пространственного распределения и абсолютных величин прогнозных ресурсов подземных вод.

## 2. ФИЗИКО - ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ САВЕ

### 2.1 Расположение исследуемой территории

Исследуемый район водосбора Саве расположен в юго-восточной части Зимбабве от 17,5° С до 22,5° С и от 30° е до 33° е. водосборная площадь реки Саве занимает площадь 48 564 квадратных километров, которая делится на пять административных провинций Маникаленд, Масвинго, Мидлендс, Машоналенд Ист и Матабелленд. Длина реки Сава составляет около 740 километров [13]

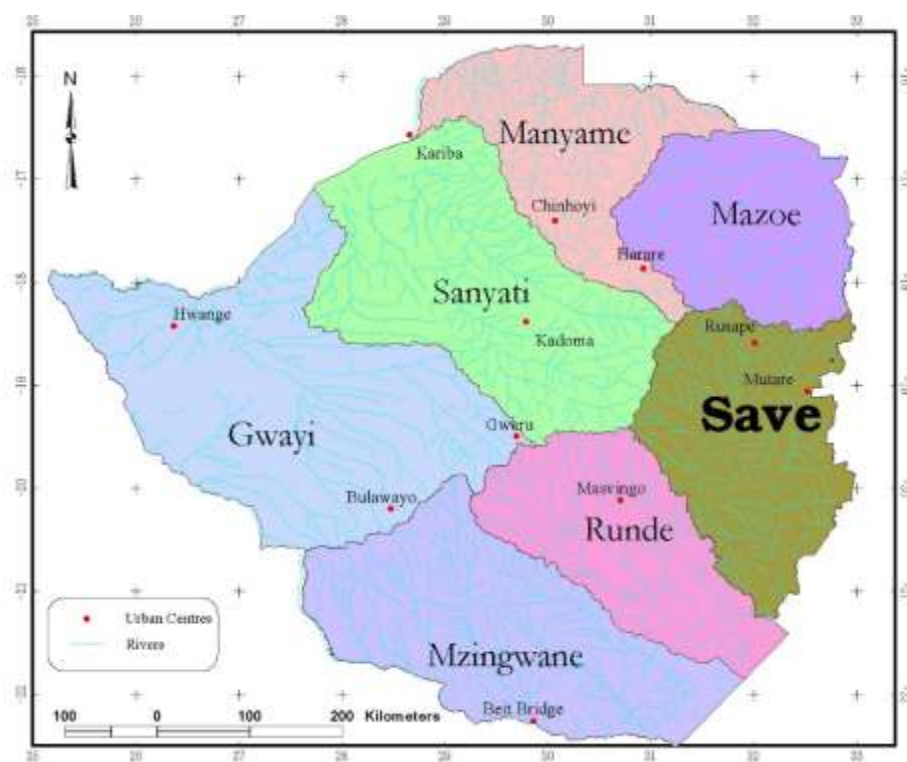


Рисунок 2.1-Географическое положение мест водосбора Саве [1]

Восточная часть региона возвышается примерно на 2000 метров над уровнем моря, в отличие от лоувельда, который находится на высоте 500 метров над уровнем моря. В горном регионе регистрируется до 2000 мм/год[21]. Этот



показатель падает в среднем до 400-600 мм в год в лоувельде, который также испытывает высокую изменчивость осадков

Водосбор разделен на 8 водосборов в соответствии с основными речными системами, а именно Мачеке, Будзи, Девуре, Нижний Сейв-Восток, Нижний Сейв-Запад, Одзи, Пунгве и Верхний Сейв. Существует 26 гидрологических подзон с площадью от 100 до 4719 км<sup>2</sup> (рис. 2.3) ниже.

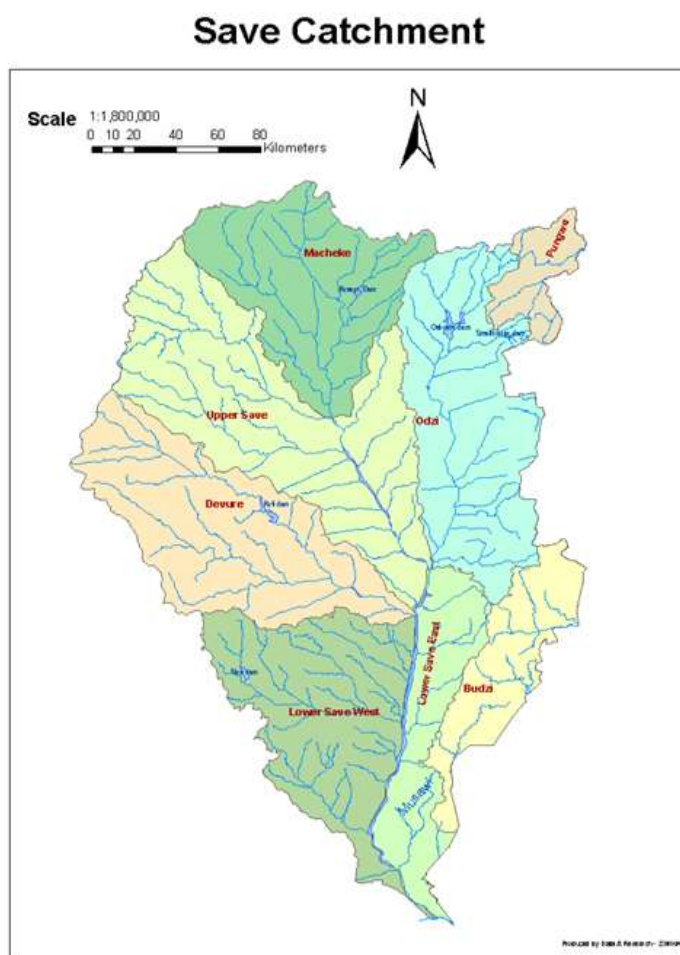


Рисунок 2.3-Подзоны бассейна реки Саве

## 2.2 Население, землепользование и социально-экономическая деятельность

Согласно переписи населения 2012 года, провинция Маникаленд, которая является доминирующей провинцией в водосборном бассейне, имеет население 1 752 698 человек, из которых только 296 559 являются городским населением, а остальные 1 456 139-сельским населением. Как показано на графике 1 ниже, водосбор состоит из 39% коммунальных зон, 35% больших масштаб торгового земледелия, 13% мелкомасштабных коммерческих сельскохозяйственных районах, 1,5% схем переселения, 1,5% совхозов, 3,5% парков и заказников и 6,5% лесных запасов.

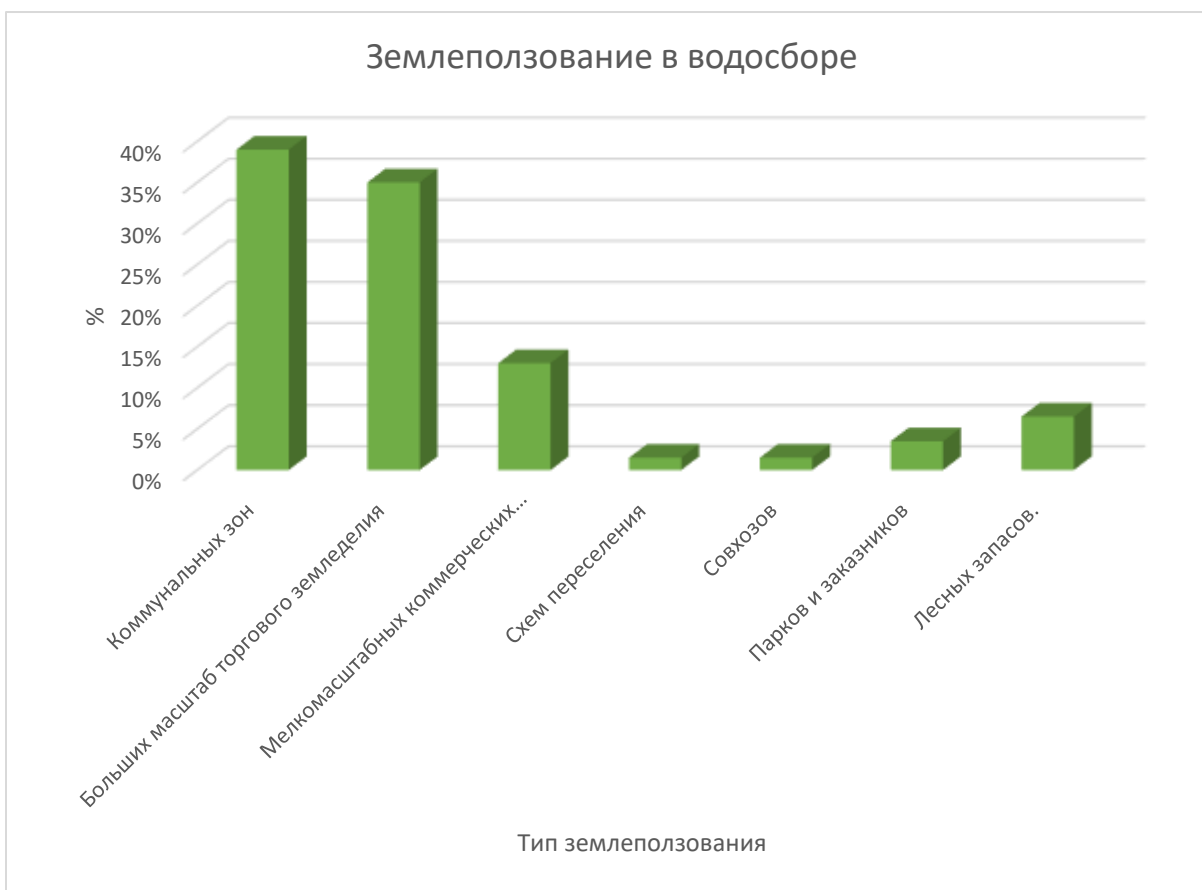


Рисунок 2.4- Сектора землепользования в водосборе Саве.

Из девяти районов, составляющих водосбор Саве, в трех преобладают городские поселения, в четырех-сельские и в двух-коммерческие фермерские хозяйства.

Основным видом экономической деятельности в водосборе является сельское хозяйство. В Восточном нагорье или природном регионе I, который характеризуется очень большим количеством осадков, имеются крупные плантации, специализирующиеся на лесном хозяйстве, плетении, производстве чая, кофе, лиственных фруктов, ячменя и картофеля. Крупные компании, как чайные плантации Танганда, плетень компанию, границы лесоматериалы и Лесной комиссии. В этом регионе также практикуется интенсивное мясное и молочное животноводство. Этот регион охватывает суб-водосборы Пунгве, Одзи и Будзи.

Основные промышленные предприятия расположены в городе Мутаре и в основном специализируются на производстве продуктов питания, бумаги, полиграфии и мебели. Другие известные отрасли промышленности - нефтеперерабатывающий завод и автосборочные заводы.

Основными рудниками в водосборе являются алмазный рудник Чиядзва, минералы Бикита, РедВинг, шахта Рассвет и минералы Дорова, которые занимаются добычей алмазов, лития, золота и фосфатов.

### **2.3 Климат**

Сезон дождей в водосборе, как и в стране, длится с октября по апрель, причем большая часть осадков выпадает в феврале. Период с мая по сентябрь обычно сухой, с очень небольшим количеством осадков или вообще без них.

Среднегодовое количество осадков в водосборе составляет 899 мм, но географически колеблется от 2 000 мм/год в горном районе Восточного нагорья до примерно 410 мм/ год в низменном Вельде на юге[21] . Зимний

сезон длится с апреля по август, а самый жаркий и сухой период-с сентября по середину ноября. Среднегодовое испарение для водосбора составляет 1720 мм/год, но географически, как и в случае с осадками, колеблется от 1 200 мм/год в Восточном нагорье до примерно 2000 мм/ год в низовьях Вельда на юге.

## **2.4 Рельеф**

Водосбор саби состоит из участка высокого внутреннего плато, которое спускается с северо-востока на горы Иньянга, переходя в низменности на юге и юго-западе таких районов, как район Мапарадзе. Как показано желтым треугольником на физической карте ниже (Рис 2.5), гора Иньянгани на высоте 2592 М является самой высокой точкой в водосборе и Зимбабве в целом, а ее самая низкая точка расположена на пересечении рек Рунде и Саве на высоте 162 м, опять же показанная желтым треугольником на карте.



Рисунок 2.5- Физическая карта, показывающая самые высокие и самые низкие точки рельефа на территории Зимбабве[23]

## 2.5 Геологическое строение

В геологии водосбора Саве доминирует докембрийский комплекс фундаментов. Территория водосборного бассейна характеризуется обширными участками гнейсовых пород, в которые были интродуцированы более молодые гранитные тела различных размеров, в том числе Протерозойские граниты, а также гранодиориты, адамеллиты и тоналиты более молодых интрузивных гранитов. Мощность зоны выветривания колеблется от 30 до 35 м. Как показано на карте (рис. 6), горные породы представлены большим разнообразием, встречаются доломиты, зеленые

сланцы, базальты, аргиллиты и т. д. Однако, большая часть площади водосбора характеризуется наличием гранитных и гнейсовых горных пород.

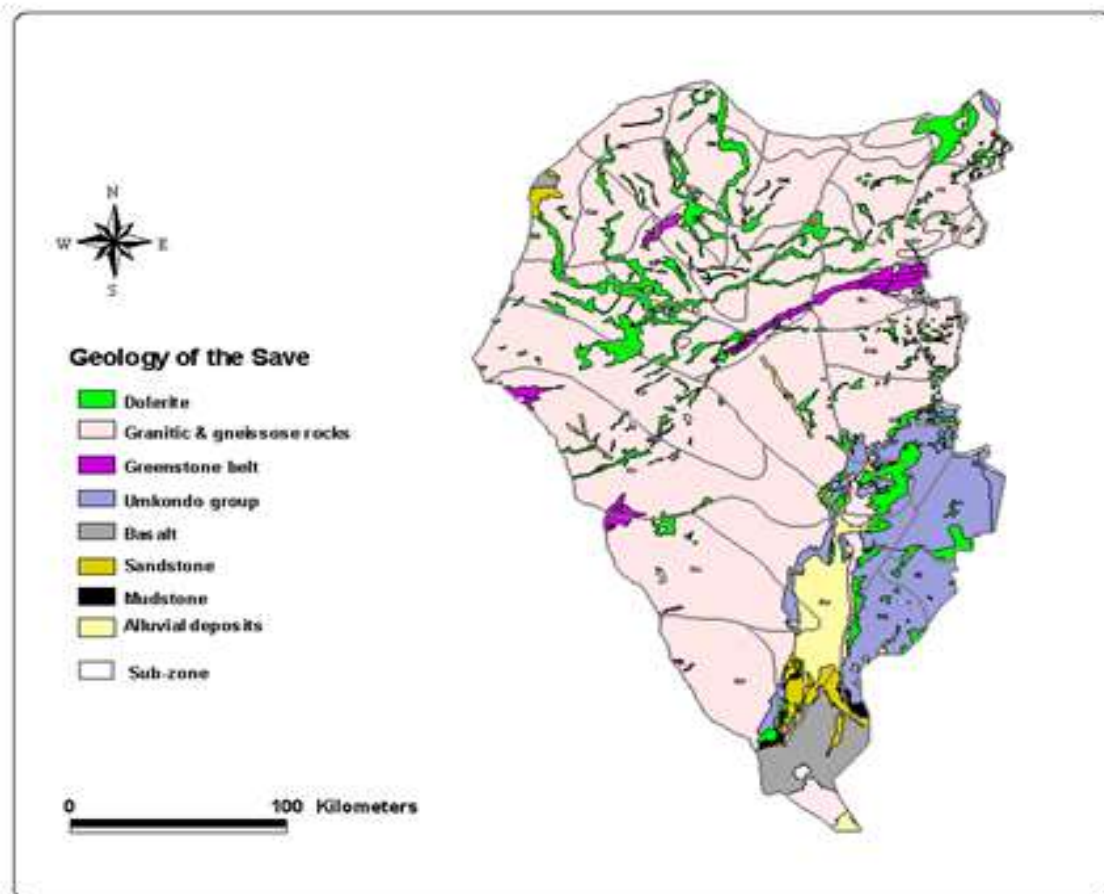


Рисунок 2.6- Геологическая карта водосбора бассейна реки Саве

В долинах рек также имеются незначительные по площади неконсолидированные осадочные толщи аллювиальных глин, песков и гравия различной мощности. Эти отложения представляют особый интерес с точки зрения поиска перспективных участков для поиска месторождений подземных вод. Например, в долине Саве мощность аллювия составляет около 70-80 м.

## 2.6 Почвенно-растительный покров

Почвы разнообразны по всему ландшафту водосбора, но в основном это сиазит и сода, а исходный материал последних относительно богат натрием и

выделяет устойчивые к атмосферным воздействиям минералы. Различные типы почв в водосборе возникают в результате различных типов материнских пород, а также различных процессов выветривания.

На (рис.2.7) ниже показана почвенная карта, указывающая на некоторые другие распространенные типы почв в водосборе. Водосбор в основном доминирует **LV**-Лувизолем (аргиновым горизонтом с глинистой подповерхностной зоной) во всех его центральных районах. Западная сторона **AR**- представляет собой Ареносоль (песчано-текстурированные почвы), а Юго-Восточная часть водосбора состоит из **CM**-Камбизоля (супесчаные или более тонкие почвы)[4]

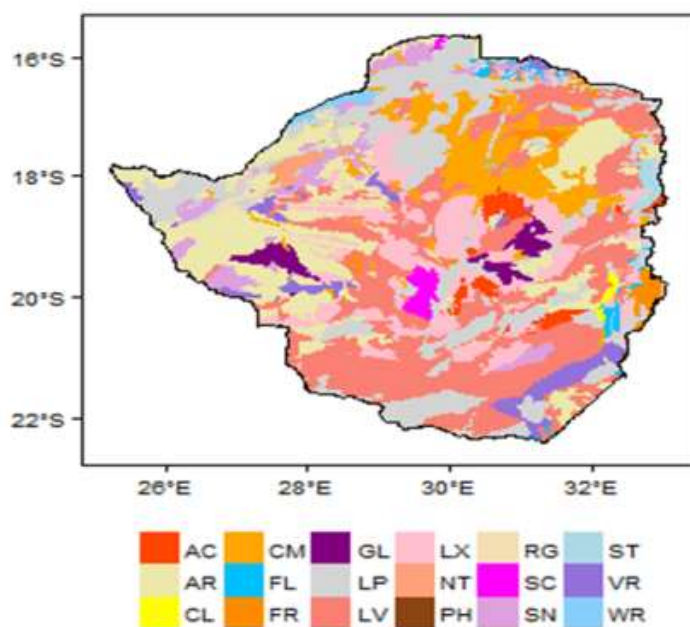


Рисунок 2.7- Типы почв Зимбабве. [4]

Естественная растительность в юго-восточной части Зимбабве варьируется от коренных лесов до открытых лугов, но в основном включает саванны и заросли. Верховья водосбора характеризуются горной экологией, где ограничиваются экзотическими древесными насаждениями и лесными

массивами миомбо. Это в отличие от области низкого Вельда, которая является бесплодной, жаркой и сухой. Сухая Саванна доминирует над низким вельдом. Доминирующими растительными видами являются *Colophospermum mopane*, *Terminalia sericea* и виды акации.

## **2.7 Водные ресурсы водосбора Саве**

### **2.7.1 Поверхностные воды**

Водосбор разделен на восемь суб-водосборов в соответствии с основными речными системами, а именно Мачеке, Будзи, Девуре, Нижний Сэйв-Восток, Нижний Сэйв-Запад, Одзи, Пунгве и верхний Саве. Существует 26 гидрологических подзон с площадью от 100 до 4719 км<sup>2</sup>. Водосбор состоит из двух основных дренажных систем: дренажной системы реки сейв и небольших дренажных систем Восточного нагорья. Дренажная система реки сейв состоит в основном из самой реки и ее притоков, в основном рек, расположенных в гидрологических подзонах Е. Другая дренажная система состоит из конгломерата различных рек, а именно рек Пунгве, Хонде, Будзи и Ньямаклавара в Восточном нагорье, которые впадают в Мозамбик, или рек, расположенных в зоне F.

Река Саве берет начало близ Фезерстоуна, примерно в 65 километрах к юго-западу от Марондеры, на высоте примерно 1450 метров над уровнем моря в районе с осадками от 600 до 700 мм. Она течет на юго-восток примерно половину своей 400-километровой длины, а затем на юг, прежде чем впадает в реку Рунде на высоте всего около 160 метров над уровнем моря и входит в Мозамбик. До своего слияния с рекой Рунде сейв осушает водосбор площадью около 43 494 квадратных километров, в котором среднее количество осадков колеблется от более чем 1 200 мм в год в верховьях рек Одзи и Одзани до 300-400 мм в нижней части Саве. [8]



Основными притоками реки Саве являются:

- в верховьях реки Рузави, которая осушает водосборный бассейн площадью 2 137 квадратных километров;
- в среднем течении реки Мачеке и Мверихари, которые осушают водосборные площади площадью 4316 и 2587 квадратных километров соответственно;
- реки Одзи и Девуре, которые соединяются с главной рекой выше средней и нижней Савской равнины и которые осушают водосборные площади площадью 7333 и 8224 квадратных километра соответственно ;
- в ее низовьях-реки Тургве и Мквасине, которые осушают водосборные площади площадью 3134 и 1577 квадратных километров соответственно.

Река Пунгве поднимается в 3 км к северо-западу от горы Иньянга на высоте 2 120 м. она течет в восточном направлении, пока не пересекает границу Мозамбика на высоте 600 м над уровнем моря. Площадь водосбора реки составляет 644 квадратных километра, а среднегодовое количество осадков в водосборе колеблется от более чем 1200 мм в верховьях до 600 мм на границе. Река Хонде поднимается на высоту 1 440 метров над уровнем моря в деревне Ватсомба на землях покупки Тсонцо. Площадь водосбора реки составляет 366 квадратных километров, а количество осадков в водосборе колеблется от более чем 1 200 мм в верховьях до 1000 мм там, где река пересекает границу.[8]

Река Ньямакварара поднимается на высоту 1740 метров над уровнем моря в Степлфордском лесу к северу от Мутаре. Река, площадь водосбора которой составляет 220 квадратных километров, занимает ту же подзону, что и река Хонде, и поэтому имеет сходные характеристики высокого уровня осадков.

Река Будзи поднимается на высоту 1 160 метров над уровнем моря в долинах Уиттингтона к северо-западу от Чипинге, а затем стекает в юго-восточном направлении в Мозамбик. Площадь водосбора реки составляет приблизительно 600 квадратных километров, а количество осадков в водосборе колеблется от более чем 1115 мм в верховьях до 979 мм там, где река пересекает границу. [8]

### **2.7.2 Гидрогеологические условия водосбора Саве**

Принимая во внимание карту зон потенциала подземных вод стран (рис.2.7), водосбор состоит в основном из 4 типов водоносных горизонтов, которые варьируются от регионов с высоким потенциалом подземных вод до регионов с низким потенциалом подземных вод.

Он в основном характеризуется подвальным комплексным водоносным горизонтом, который охватывает почти 60% водосбора и расположен в основном в Западной и центральной частях водосбора в таких районах, как Бухера, Уэдза и Русапе. Этот водоносный горизонт разделен на две гидрогеологические подгруппы: 1) гранит и гнейс под африканской эрозионной поверхностью; и 2) гранит и гнейс под Постафриканской и Плиоценовой четвертичными эрозионными поверхностями.

Эти водоносные горизонты имеют низкий потенциал развития подземных вод. Толщина водоносного горизонта составляет около 30-50 метров, скважины обычно бурят на глубину 40-50 метров. Устойчивые дебиты скважин находятся в районе  $50-100 \text{ м}^3 / \text{сутки}$ , коэффициент пропускания от низкого до умеренного ( $<10 \text{ м}^2 / \text{сут}$ ), а удельная пропускная способность составляет умеренный ( $30-50 \text{ м}^3 / \text{д/М}$ ). [4]

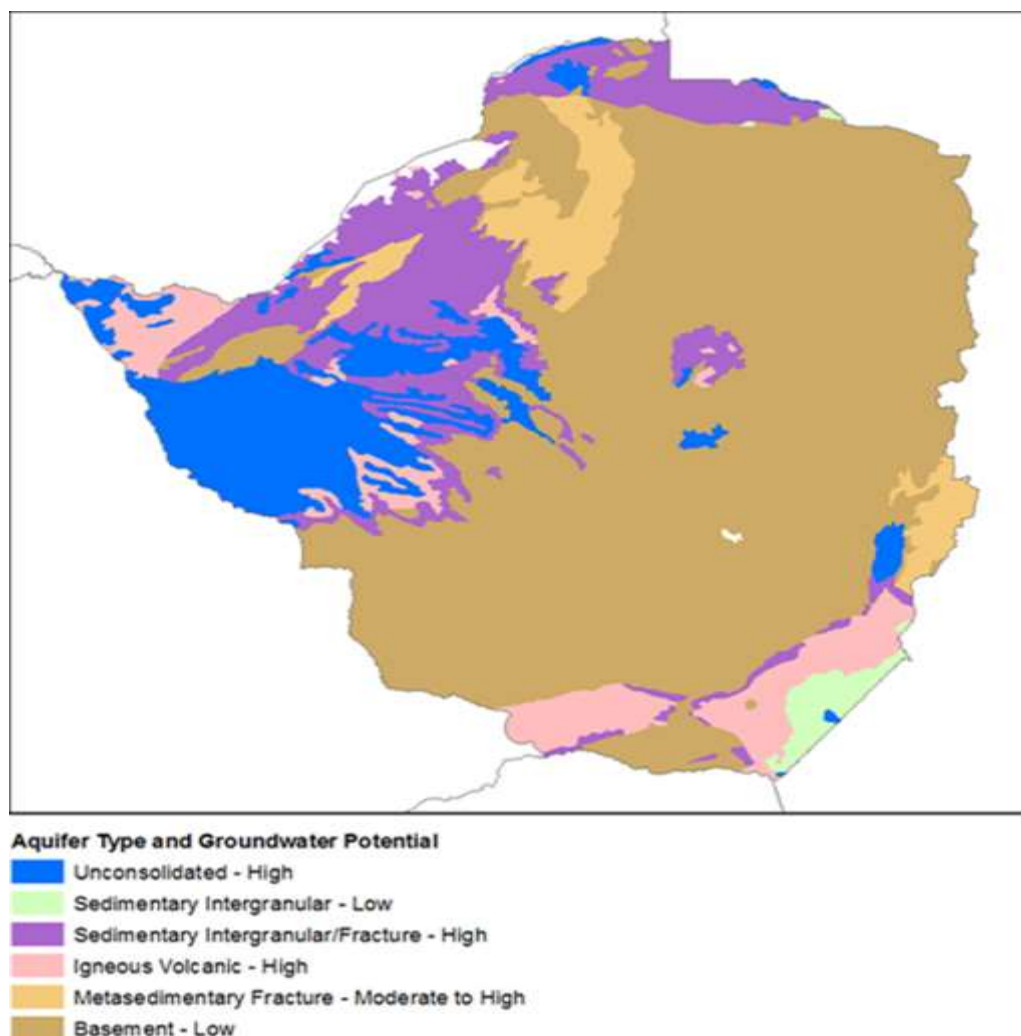


Рисунок 2.8- Тип водоносного горизонта и потенциал подземных вод. [4]

Метаседиментарный трещиноватый тип водоносного горизонта является вторым распространенным водоносным горизонтом в водосборе. Этот тип водоносного горизонта существует в пределах докембрийских отложений. Водоносные горизонты существуют в основном за счет карстовых особенностей в известковых породах Доломитовых формаций (массивные известняки). Выветривание сланцевых горизонтов в известняке также увеличивает потенциал хранения подземных вод и стока. Средняя удельная производительность скважин составляет  $505 \text{ м}^3 / \text{сут} / \text{м}$ . типичные глубины

скважин колеблются от 60 до 80 м. Качество воды имеет слабо выраженный кальциево-магниевый характер. [4]

Из Метаседиментарного Трещиноватого типа водоносного горизонта мы имеем осадочный межзеренный / трещиноватый тип водоносного горизонта. Это занимает небольшую площадь водосбора и состоит из откосного песчано-замкнутого водоносного горизонта с высоким потенциалом развития подземных вод. Скважины обычно имеют глубину 30-100 м, а уровень воды около 10-15 м и более 20 м соответственно. Урожайность колеблется от 1,2 до 3,5 л/с.

Наиболее продуктивным водоносным горизонтом в водосборе Саве является неконсолидированный тип водоносного горизонта. Этот водоносный горизонт также занимает небольшую часть водосбора и расположен в таких районах, как Гудьянга, Тонхорай, Чангази, Чипангай и Чибуве, где эти общины граничат с рекой Саве. Скважины, пробуренные вдоль русла реки Сава, являются высокодоходными, что свидетельствует о высоком потенциале неконсолидированного водоносного горизонта. Эти скважины в Савских аллювиальных отложениях имеют глубину 20-70 м и обеспечивают производительность 100-5000 м<sup>3</sup> / сут.

#### **2.7.2.1 Химический состав подземных вод водосбора Саве**

Качество грунтовых вод на всем протяжении водосбора Саве обычно хорошее и, как правило, не представляет никаких ограничений для использования в целях человеческого потребления. Из компонентов, представляющих угрозу для здоровья, несколько случаев высокого содержания нитратов приписываются бедным строительством скважин. Линзы солоноватой воды встречаются в аллювии реки Саве, которая может быть ископаемой водой и/или водой, пополняющейся через соседние слои Кару. Вода из

докембрийского метаосажденного водоносного горизонта (район Чиманимани) в целом хороша, хотя и имеет слегка твердый кальциево-магниевый характер. Из докембрийского подвального водоносного горизонта качество воды также хорошее с общей концентрацией растворенных твердых веществ ниже 1000 мг / л и отсутствием зарегистрированной опасности фторидов. В заключение можно с уверенностью утверждать, что качество подземных вод в районе водосбора Саве в целом хорошее и безопасное для потребления человеком при общей концентрации растворенных твердых веществ ниже 1000 мг /л.

### **3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

В исследовании использовались методы сбора и анализа количественных данных. Методы обработки данных дистанционного зондирования (ДЗ) земли с использованием возможностей Географических информационных систем (ГИС). Сочетание этих методов использовалось для картирования ресурсного потенциала подземных вод.

#### **3.1 Картирование ресурсного потенциала подземных вод**

Дистанционное зондирование и основанные на ГИС многокритериальные подходы использовались для составления карт потенциальных зон подземных вод, как это было рекомендовано различными исследователями [27]. Тематические слои: геология, уклоны рельефа, характер землепользования, плотность дренажной сети, атмосферные осадки, высота над уровнем моря и близость к дренажу (расстояние от рек), были подготовлены на основе данных дистанционного зондирования в среде ГИС. Выбор тематических слоев для картирования потенциала подземных вод был основан на результатах аналогичных исследований [32]. Тематические слои и отдельные классы в тематических слоях были независимо взвешены/оценены с использованием пространственной многокритериальной оценки. Пространственная многокритериальная оценка: Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) -это приложение, которое помогает и направляет пользователя в выполнении многокритериальной оценки пространственным способом. Входными данными для приложения являются несколько растровых карт определенной области (так называемые "критерии" или "эффекты") и дерево критериев, содержащее способ группировки, стандартизации и взвешивания критериев.

Затем тематические слои были агрегированы с использованием метода взвешенной суммы/Weighted Sum method (WSM) для разработки карты

индекса потенциала подземных вод. Затем карта индекса потенциала подземных вод была сопоставлена с данными о дебите скважин в среднем по 35 скважинам, чтобы проверить достоверность результатов. Для корреляционного анализа использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена на основе вычисления критерия R.

### **3.2 Источники данных**

При составлении карт ресурсного потенциала подземных вод использовались данные дистанционного зондирования и дополнительные данные, полученные с различных платформ. Цифровая модель рельефа (DEM) исследуемого района была получена с помощью результатов радарной съемки миссии Shuttle Radar Terrain Mission (SRTM DEM). Затем карты уклонов рельефа, абсолютных высот и плотности дренажной сети были разработаны на основе DEM с использованием инструмента гидрообработки DEM в ILWIS. Нормализованный разностный индекс растительности (NDVI) был рассчитан на основе изображений MODIS. Изображения с оперативного надземного тепловизора Landsat 8 (OLI) за наиболее засушливый сезон (октябрь 2020 года) были загружены с веб-сайта Геологической службы Соединенных Штатов (<http://glovis.usgs.gov>). Изображения Landsat имеют высокое разрешение (30 м), поэтому они подходят для классификации землепользования (Kibena et al., 2013). Карта растительного покрова исследуемой территории, полученная на основе классификации многоспектрального изображения и полевых работ. Данные были получены комиссией по лесному хозяйству в рамках проекта, финансируемого WWF. Для определения расстояния от рек в ГИС был проведен расчет расстояния. Геолого-термическая карта была оцифрована из «Голубой книги» водосбора бассейна реки Саве. Ежемесячные данные об осадках, полученные со спутника, были использованы для разработки карты среднегодовых осадков для исследуемого района. В дополнение к данным

дистанционного зондирования использовались также вспомогательные материалы.

Для проверки дистанционных данных об осадках в годовом масштабе времени использовались результаты регистрации среднегодовых величин осадков, полученные от нескольких станций метеорологических служб Зимбабве. Данные по дебиту 40 скважин, полученные от Национального управления водных ресурсов Зимбабве (в офисах Мутаре), были использованы для валидации карты индекса потенциала подземных вод.

### **3.3 Формирование тематических слоев электронных карт**

Факторы, контролирующие пространственное распределение ресурсного потенциала подземных вод: уклон рельефа, плотность дренажной сети, количество осадков, землепользование/почвенный покров, геология, близость к дренажу, NDVI и высота над уровнем моря , были подготовлены в среде ГИС.

#### *(i)Геология*

Геология существенно влияет на потоки подземных вод, как на поверхности, так и в недрах [33]. Рекомендуется учитывать геологию в исследованиях, связанных с картированием потенциала подземных вод [34]. Районы с высоко устойчивыми породами препятствуют инфильтрации, следовательно, ухудшают условия питания подземных вод. С другой стороны, высокопроницаемый грунтовый материал способствует инфильтрации, следовательно, способствует дополнительному питанию подземных вод [33]. В настоящем исследовании пять групп горных пород, а именно аллювиальные отложения; пояс зеленокаменных пород, долериты, группа Умкондо, гранитные и гнейсовые породы. Геологические классы были взвешены на основе показателя их водообильности, как это было описано Мартинелли и



Хьюбертом [30]. Группа аллювиальных отложений была выделена с наибольшим весом, так как она характеризуется высокими удельными дебитами подземных вод, превышающими 100-5000 м³/сут. Самая низкая оценка была присвоена гранитным и гнейсовым породам, которые характеризуются низкими дебитами подземных вод в диапазоне от 10 до 50 м³/сут.

## (ii) Уклон

Уклон рельефа является одним из важных факторов, определяющих ресурсный потенциал подземных вод [32]. Он контролирует проникновение воды в недра. Плоские и пологие участки склонов увеличивают время пребывания стока, следовательно, способствуют инфильтрации. Крутые склоны способствуют образованию поверхностного стока, следовательно, сравнительно создают условия для уменьшения инфильтрации [33]. Чем более пологий склон, тем выше инфильтрация, следовательно, более благоприятные условия для накопления потенциала подземных вод. В этом исследовании карта склонов была разработана на основе SRTM DEM с разрешением 30 м с использованием инструмента гидрообработки DEM в ILWIS. Карта склона была разработана, как с использованием уравнения, показанного ниже:

$$SLOPEDEG=RADDEG= (ATAN(\frac{SLOPEPCT}{100}))$$

где:  $SLOPEDEG$  = уклон в градусах

$ATAN$  и  $RADDEG$  = внутренний расчет карты/Функции расчета таблицы

$SLOPEPCT$  = уклон в процентах.

Выделено пять классов уклона поверхности рельефа (склонов): очень пологие, пологие, умеренно крутые, крутые и очень крутые, соответствующие диапазонам уклонов: 0-6, 6-12, 12-18, 18-24 и >24 градусов.

Высокий ранг/вес был присвоен очень пологим склонам (0-6 град), в то время как меньший вес был присвоен очень крутым склонам (>24 град).

### *(iii) Плотность дренажа*

Плотность дренажной сети является мерой общей длины всех русловых потоков на единицу площади. Она определяется природой и структурой коренных пород, видом растительности, способностью почв поглощать осадки, инфильтрацией, геоморфологией и градиентом склона (Rahmati et al., 2014). Регионы с низкой плотностью дренажной сети характеризуются снижением поверхностного стока, следовательно, на этих участках более вероятна инфильтрация. Эти районы пригодны для освоения подземных вод [32]. Районы с высокой плотностью дренажа представляют собой участки с большими расходами поверхностного стока, следовательно, с низким потенциалом питания подземных вод. Плотность дренажной сети для района исследования была получена путем обработки цифровой модели рельефа SRTM DEM (30\*30 м). Используя диапазоны плотности дренажа, разработанные ранее (Awawdeh et al, 2013), плотность водоотведения подразделена на классы: очень низкая ( $< 0.1 \text{ км/ км}^2$ ), низкая (0,1-0,4 км/ км<sup>2</sup>), средняя (0.4-0.6 км/ км<sup>2</sup>), высокая (0.6-0.8 км/ км<sup>2</sup>) и очень высокая ( $> 0,8 \text{ км/ км}^2$ ). Высокий рейтинг/вес был присвоен низкой плотности дренажа ( $< 0,1 \text{ км/ км}^2$ ), в то время как низкий весовой коэффициент был присвоен высокой плотности дренажа ( $> 0,8 \text{ км/ км}^2$ )

### *(iv) Землепользование/ Почвенный покров (LU/LC)*

Роль землепользования/ почвенного покрова (LU/LC) в потенциале подземных вод очевидна и широка. Типы почвенного покрова/характера землепользования - это лесные плантации, сельскохозяйственные фермы, открытые поверхности оголенных почв, водные объекты, такие как озера и

реки, и населенные пункты. Каждый LU/LC оказывает определенное влияние на потенциал подземных вод косвенно через инфильтрацию, сток и испарение. Растительный покров сводит к минимуму испарение и сток, в то время как одновременно увеличивает инфильтрацию. Следовательно, растительность увеличивает вероятность пополнения подземных вод и может свидетельствовать о высоком потенциале подземных вод. Лесные плантации требуют большого количества воды, которую они извлекают с поверхности уровня грунтовых вод, поэтому лесные плантации указывают на высокий потенциал подземных вод. В населенных пунктах и застроенных районах инфильтрация низкая из-за дорог, тротуаров и зданий, покрывающих поверхность почвы, и, следовательно, ожидается низкий потенциал подземных вод [35]. После ранжирования этого тематического слоя электронной карты, обрабатываемым участкам земли был присвоен самый высокий уровень веса, в то время как застроенной территории (заселенным участкам) был присвоен самый низкий ранг.

#### *(v) Атмосферные осадки*

Питание грунтовых вод в основном происходит за счет осадков. Осадки являются основным гидрологическим параметром, влияющим на ресурсный потенциал и сохранение запасов подземных вод. В районах, где имеются напорные подземные воды, осадки могут не указывать на запасы подземных вод, но они будут косвенным признаком возможности устойчивой эксплуатации подземных вод и могут быть использованы для оценки оптимальных уровней добычи воды. В течение 30 лет (с 1989 по 2019 год) ежемесячные осадки были усреднены для разработки карты среднегодовых осадков для исследуемого района. Районы, в которых выпадает большое количество осадков, считаются имеющими большой ресурсный потенциал подземных вод. Согласно имеющимся данным об осадках, их суммарное

количество за год колеблется от 600 мм для районов с низким уровнем осадков и до 1934 мм в районах с высоким уровнем осадков в пределах водосбора. Высокие веса были присвоены районам с большим количеством осадков ( $>1401$  мм), а низкие веса были выделены районам с низким количеством осадков ( $<800$  мм).

*(vi) Высота рельефа над уровнем моря*

Высота рельефа над уровнем моря играет важную роль в оценке ресурсного потенциала подземных вод. Местные и региональные условия рельефа определяют общее направление потока подземных вод, питания и разгрузки подземных вод. Таким образом, высота определяет скорость инфильтрации, накопление потока, зоны транзита и диссипации [26]. Районы с низкими высотными отметками рельефа связаны с накоплением подземных вод. Таким образом, в районах с низкими относительными высотами наблюдается замедленный поверхностный сток, что позволяет дождевой воде просачиваться в течение более длительного времени, в то время как районы с высокими высотами способствуют быстрому стоку, следовательно, сравнительно меньшей инфильтрации. Высокая интенсивность инфильтрационного питания приводит к росту ресурсного потенциала подземных вод и наоборот. Карта высот для исследуемого района была разработана на основе цифровой модели высот исследуемого района. Были приняты следующие диапазоны высот:  $> 1490$  м, 1215-1490 м, 940-1215 м, 665-940 м и 390-665 м. Районы с низкими высотами (390-665 м) были оценены как способствующие увеличению ресурсного потенциала подземных вод, в то время как районы с высокими высотами ( $>1490$  м) были оценены как участки с низким уровнем ресурсного потенциала подземных вод.

### *(vii) Близость к дренажу*

Районы, окружающие водные объекты, такие как озера и реки, обычно имеют высокий уровень грунтовых вод из-за бокового потока воды. Водоносные горизонты монолитных пород, расположенные вблизи водоемов, могут иметь незначительное отличие подземных вод от аллювиальных районов, которые более изотропны по своей природе. Более близкое расположение к дренажной сети означает, что вероятность обнаружения подземных вод высока [36]. С удалением от дренажной сети, потенциал подземных вод уменьшается. Движение грунтовых вод очень медленное, поэтому при мнимой пороговой близости к дренажу влияние дренажа становится незначительным. Для исследуемого района была оценена близость к дренажной сети, а расстояние от рек было рассчитано в ГИС. Расчетным путём были получены следующие градации расстояний: 0 - 6 км, 6 – 12 км, 12 – 18 км, 18 – 24 км и >24 км. Более близкое расстояние к рекам (0 – 6 км) было оценено высоким баллом, в то время как расстояние удаленное от рек (>24 км) было оценено низкими значениями.

### *(viii) NDVI*

Космические снимки (Landsat-8) за период наиболее сухого сезона года (октябрь 2020 года) были использованы для создания карты NDVI в ILWIS. Интегральный показатель NDVI относится к Нормализованному индексу растительности, который является мерой силы развития растительности. Растительный покров сводит к минимуму испарение и сток, одновременно увеличивая инфильтрацию. Следовательно, наличие растительности увеличивает вероятность пополнения подземных вод и может свидетельствовать о высоком потенциале подземных вод [37]. Лесные плантации требуют большого количества воды, которую они получают за счет

питания грунтовыми водами, поэтому лесные плантации указывают на высокий потенциал подземных вод. Таким образом, считается, что районы с высокими значениями NDVI с большей вероятностью будут иметь подземные воды.

### 3.4 Вычисление весов тематических слоев

Для вычисления весов тематических слоев использовался метод пространственной многокритериальной оценки (Spatial Multi-Criteria Evaluation) на основе ГИС, а ранжирование по каждому из факторов проводилось прямым методом. Основываясь на данных других исследователей, ранжирование по каждому фактору проводилось в соответствии с таблицей 1 ниже.

Таблица 3.1-Диапазоны параметров и их ранжирование

Параметр	Диапазон параметров	Перспектива разведки подземных вод	Оценка
Атмосферные Осадки	1401мм-1934мм	Отлично	5
	1201мм-1400мм	Хорошо	4
	1001мм-1200мм	Умеренный	3
	801мм-1000мм	Бедный	2
	600 мм-800 мм	Очень бедный	1
Склон	Почти уровень ( $0^0$ - $6^0$ )	Отлично	5
	Очень пологий склон ( $6^0$ - $12^0$ )	Хорошо	4
	Пологий склон ( $12^0$ - $18^0$ )	Умеренный	3
	Умеренно наклонный ( $18^0$ - $24^0$ )	Бедный	2
	Сильный наклон ( $>24^0$ )	Очень бедный	1
Плотность дренажа	$<0.1$	Отлично	5
	0.1-0.4	Хорошо	4
	0.4-0.6	Умеренный	3
	0.6-0.8	Бедный	2
	$>0.8$	Очень бедный	1

Геология	Аллювиальные отложения	Высокий	5
	Пояс зеленого камня	Умеренный	4
	Долерит	Умеренный	3
	Группа Умкондо	Низкий	2
	Гранитные и гнейсовые породы	Низкий	1
Землепользование/ почвенный покров	Сельское хозяйство	Отлично	5
	Лесистая местность	Хорошо	4
	Водные объекты	Хорошо	4
	Залежные Земли	Умеренный	3
	Бушленд	Умеренный	2
	Район поселения	Бедный	1
	Бесплодная земля	Очень бедный	1
Высота над уровнем /Рельеф	390-665м	Отлично	5
	665-940 м	Хорошо	4
	940-1215 м	Умеренный	3
	1215-1490 м	Бедный	2
	> 1490 м	Очень бедный	1
Близость к дренажу	0-6 км	Отлично	5
	6-12 км	Хорошо	4
	12-18 км	Умеренный	3
	18-24 км	Бедный	2
	>24 км	Очень бедный	1
NDVI	>0.8км/км <sup>2</sup>	Отлично	5
	0.6-0.8 км/км <sup>2</sup>	Хорошо	4
	0.4-0.60 км/км <sup>2</sup>	Умеренный	3
	0.2-0.40 км/км <sup>2</sup>	Бедный	2
	0-0.2 км/км <sup>2</sup>	Очень бедный	1

### 3.4.1 Стандартизация тематических слоев

После индивидуального присвоения ранжирования по факторам, затем сами факторы, также называемые входными данными, были стандартизированы для нормализации различных критериев. Входные данные представляют собой различные карты, и значения на этих входных картах выражают различные единицы измерения (например, расстояние, классы землепользования, градусы). Чтобы сравнить критерии друг с другом таким образом, чтобы это имело смысл, они должны быть стандартизированы, то есть преобразованы в одну и ту же единицу измерения. Стандартизация факторов (полезных и не полезных) приводит к преобразованию значений карты или столбца в значения

от 0 до 1 (нормализация). Плохая информативность по одному критерию / фактору может быть компенсирована хорошей информативностью по другому критерию.

### 3.4.2 Присвоение весов факторам

Использовался прямой метод присвоения веса. Этот метод включает прямое назначение весов, и эти определенные пользователем веса будут автоматически нормализованы. Принимая во внимание рекомендации других исследователей и характер факторов формирования подземных вод в водосборе бассейна р.Саве,этим факторам были присвоены следующие веса.

Таблица 3.2-Факторы формирования подземных вод и их присвоенные веса

Фактор	Вес
Геология	40
Атмосферные Осадки	25
Землепользование/ почвенный покров	20
Плотность дренажа	15
Склон	15
Высота над уровнем /Рельеф	15
NDVI	10
Близость к дренажу	10



### 3.5. Формирование карты индекса ресурсного потенциала подземных вод

После объединения всех выделенных факторов формирования подземных вод была создана составная (интегральная) индексная карта. Расчет для составления карты индекса ресурсного потенциала подземных вод был основан на методе взвешенной суммы, который представлен следующей формулой:

$$S_j = \sum_i^n W_i * S_{ij}$$

где  $S_j$  - взвешенная оценка для пикселя  $j$  в общей карте пригодности,  $W_i$  - вес для  $i$  -й входной карты, а  $S_{ij}$  - оценка для  $j$  -го пикселя в  $i$  -й карте. Значение  $j$  зависит от частичной привлекательности каждого пикселя, фактически встречающегося в текущем местоположении. Чем выше взвешенный балл  $S_j$ , тем выше пригодность.

Составная (интегральная) карта индексов содержит накопленную пригодность для всех критериев, стандартизированную и взвешенную, как указано в дереве критериев. Выходные составные индексные карты имеют значения от 0 до 1:

1. пиксели со значениями, близкими к 0, представляют области с низким потенциалом подземных вод,
2. пиксели со значениями около 1 представляют области с высоким потенциалом подземных вод.

### **3.6. Валидация карты индекса ресурсного потенциала подземных вод**

Данные о дебитах скважин были использованы для проверки выделенных зон ресурсного потенциала подземных вод, выявленных в ходе исследования [27]. Всего было использовано 40 скважин, разбросанных по всей площади водосбора. Для корреляционного анализа использовался коэффициент корреляции Спирмена. Данные по дебиту скважин коррелировали с показателями ресурсного потенциала подземных вод на карте. После процесса корреляции была разработана окончательная карта ресурсного потенциала подземных вод для исследуемого района. Значения Индекса ресурсного потенциала подземных вод были переклассифицированы в три зоны ресурсного потенциала подземных вод: низкую, умеренную и высокую. Зоны были классифицированы в соответствии с классификацией урожайности подземных вод Зимбабве Мартинелли и Хьюберта (1985).

## **4.РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

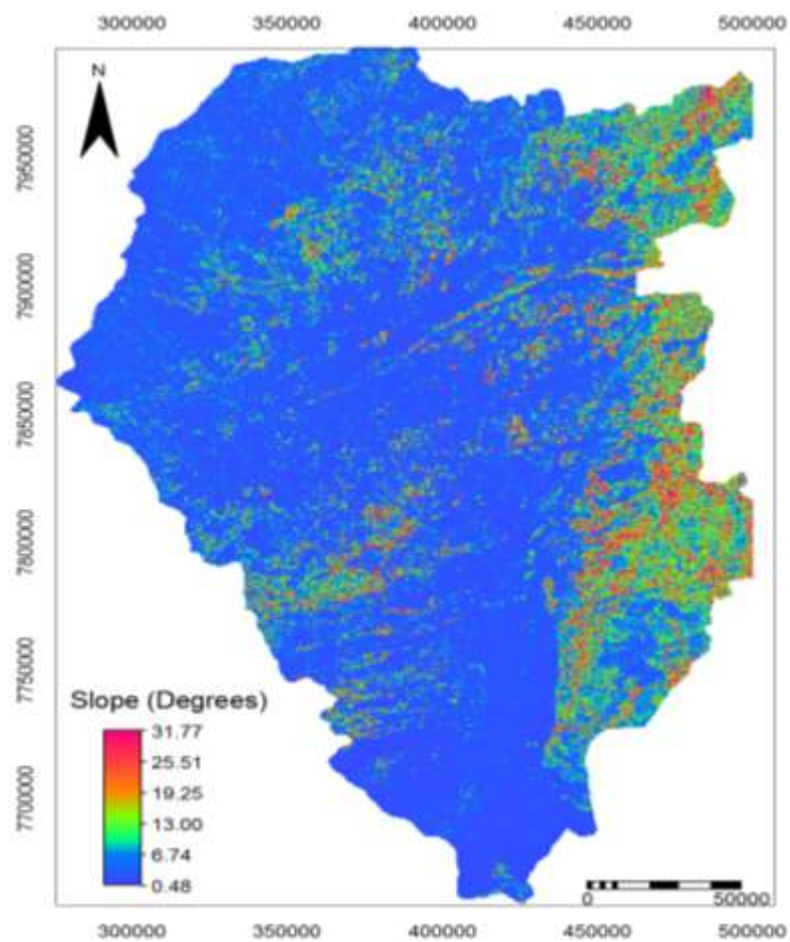
### **4.1 Картирование ресурсного потенциала подземных вод**

Пространственные вариации факторов формирования подземных вод, используемых для картирования ресурсного потенциала подземных вод, представлены на рисунках 8-11. Результирующая карта индекса ресурсного потенциала подземных вод после агрегирования факторов формирования подземных вод представлена на рис.12. После корреляции продуктивности скважин с индексами карты индекса ресурсного потенциала подземных вод был получен коэффициент корреляции ( $r=0,66$ ). Полученный коэффициент корреляции был использован для валидации и разработки окончательной карты ресурсного потенциала подземных вод, рис. 13. Переклассификация индексов и соответствующих зон потенциала подземных вод представлена в таблице 3.

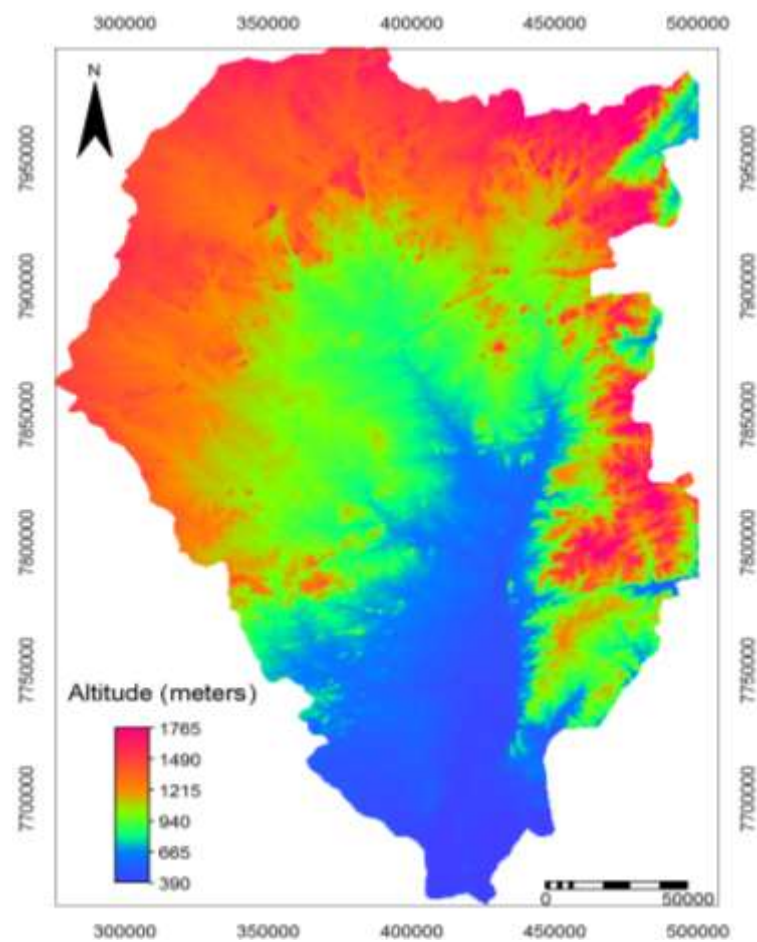
#### **4.1.1 Пространственное изменение атрибутов в тематических слоях**

На рисунках 4.1-4.4 показаны обобщенные результирующие факторы формирования подземных вод, разработанные для картирования ресурсного потенциала подземных вод с использованием инструментов пространственного анализа.

На рис. 4.1a показана классифицированная карта склонов исследуемой территории. Доминирующим был диапазон наклона  $0^{\circ}$ - $6^{\circ}$ , что составляло 64% исследуемой площади. Классы от почти плоских до умеренно наклонных ( $0^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ) составляли 82% площади исследования. Эти районы включают регион Лоувельд, который включает в себя такие места, как Мидхуру-Саби, Танганда и Чипангай, которые обычно известны как низменные районы.

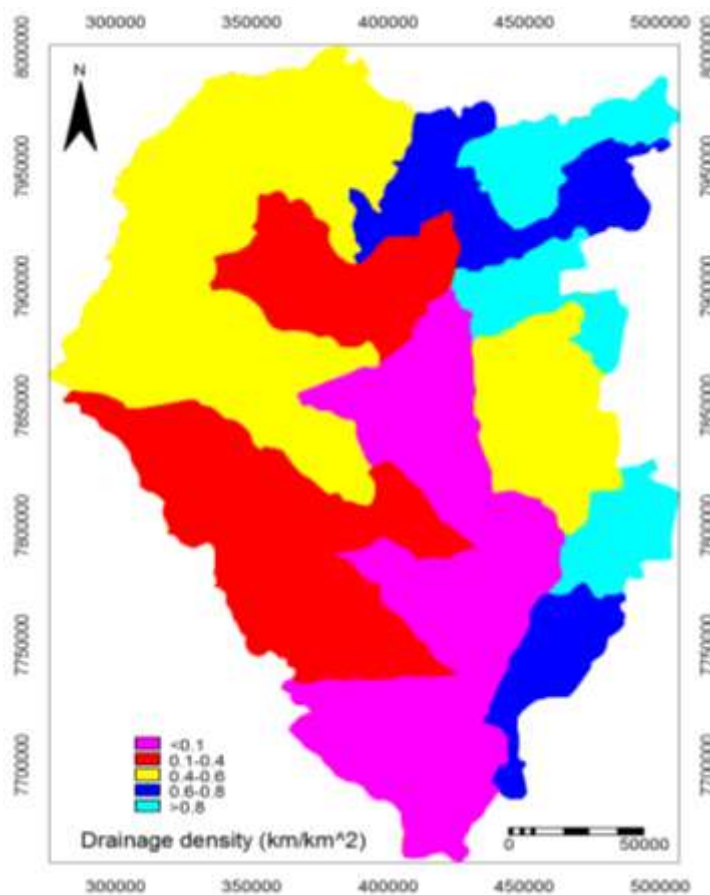


(a)

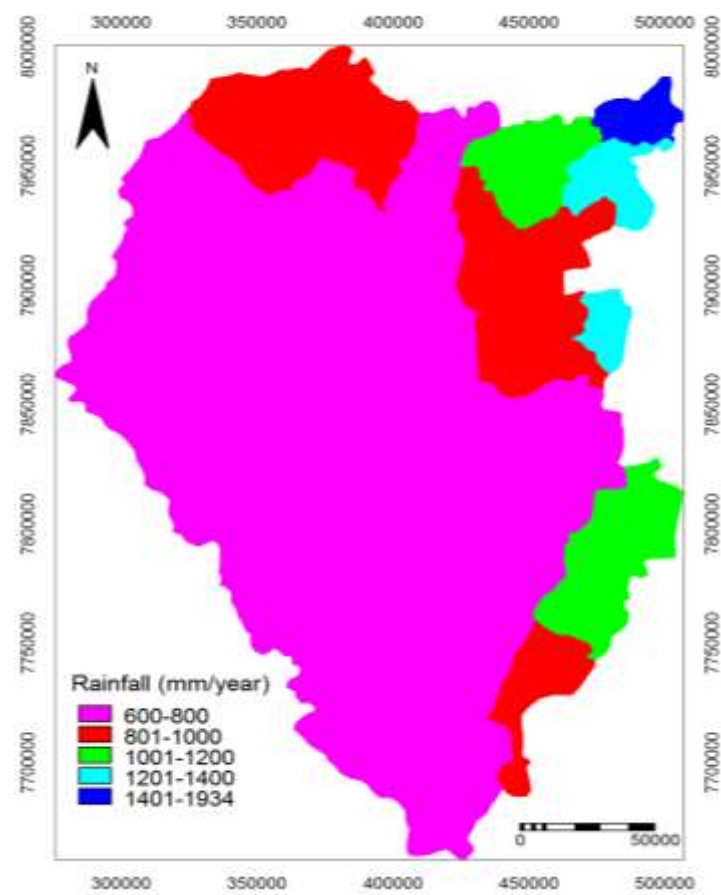


(b)

Рис. 4.1-Пространственное изменение уклона и высоты над уровнем моря водосбора бассейна р.Саве.

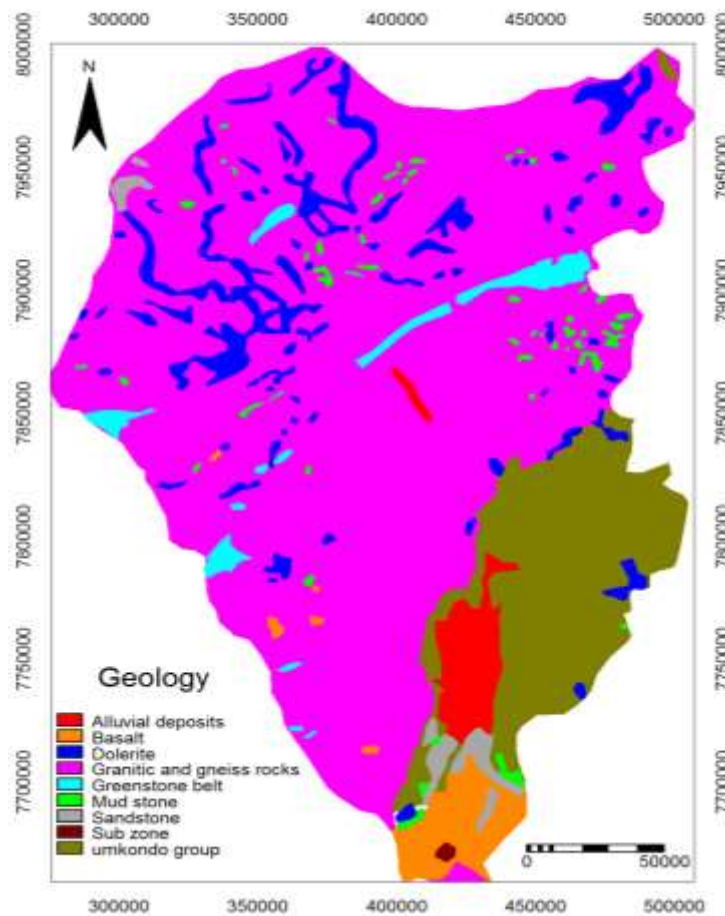


(a)

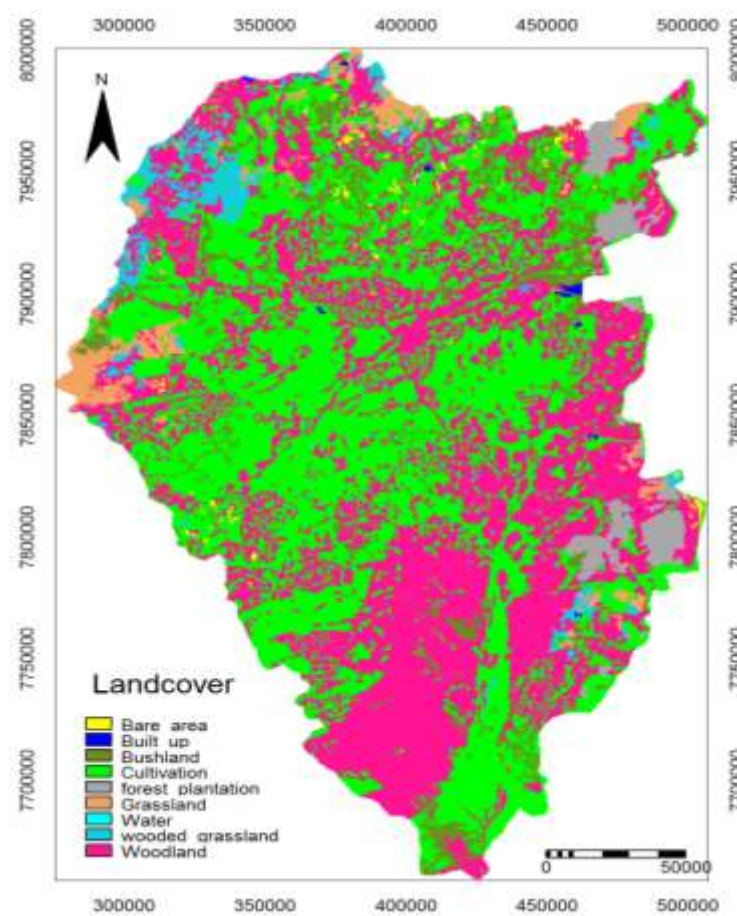


(b)

Рис 4.2-Пространственное изменение плотности дренажной сети и атмосферных осадков водосбора бассейна р.Саве.



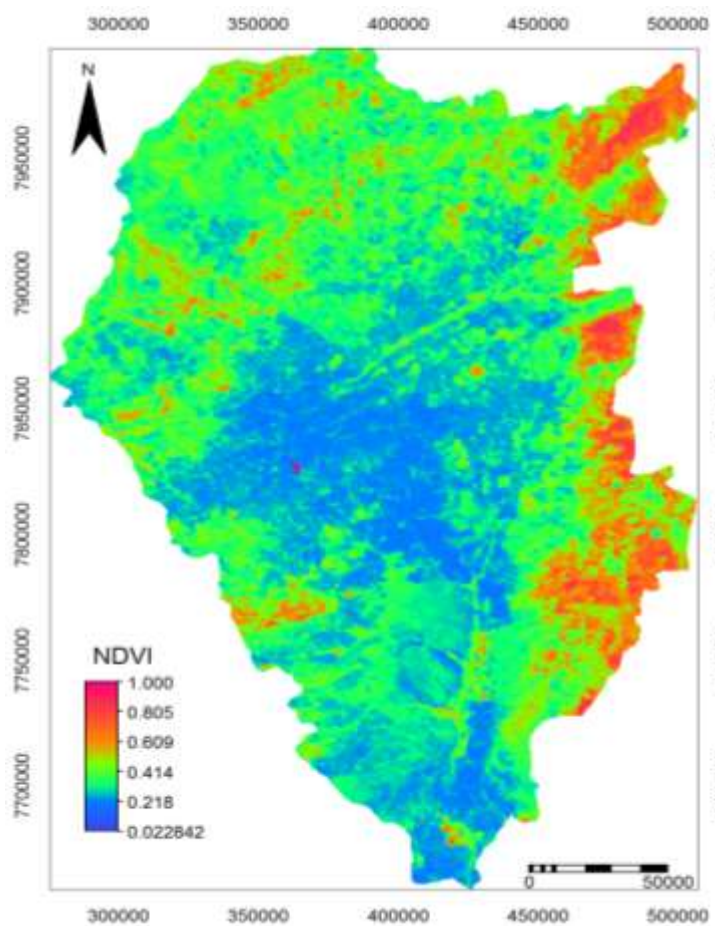
(a)



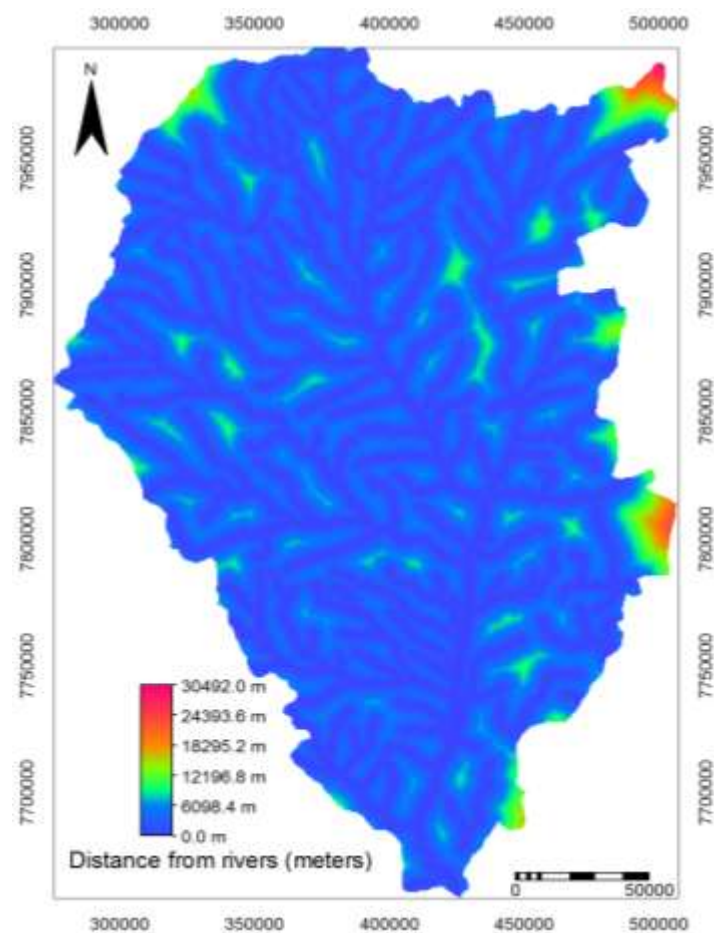
(b)

Рисунок 4.3- Геологическая карта и карта характера и землепользования водосборного бассейна р.Саве.





(a)



(b)

Рисунок 4.4- Пространственное изменение NDVI и близость к дренажной сети водосбора бассейна р.Саве.

На рис. 4.1a показана классифицированная карта склонов исследуемой территории. Доминирующим был диапазон наклона  $0^{\circ}$ - $6^{\circ}$ , что составляло 64% исследуемой площади. Классы от почти плоских до умеренно наклонных ( $0^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ) составляли 82% площади исследования. Эти районы включают регион Лоувельд, который включает в себя такие места, как Мидхуру-Саби, Танганда и Чипангай, которые обычно известны как низменные районы. По мнению других исследователей, диапазон склонов ( $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ) имеет лучшие условия для формирования залежей подземных вод, поскольку он характеризуется низким уровнем поверхностного стока [27]. Более плоские участки на карте склонов также совпадали с более низкими высотами (390-665 м) над уровнем моря.

Более 65% исследуемой территории характеризуется среднегодовым количеством осадков 600 – 800 мм. Высокие среднегодовые значения суммы осадков способствуют накоплению запасов подземных вод. Что касается плотности дренажа (рис 4.2a), то 54% исследуемой территории имели низкую плотность дренажа ( $0,1$ - $0,4$  км/ км<sup>2</sup>), плотность дренажа  $0,1$ - $0,4$  км\ км<sup>2</sup> считается низкой и благоприятной для развития подземных вод [33].

Карта характера землепользования, рис. 4.3b, показывает доминирование возделывания земель в пределах исследуемой территории, занимающей 2,2 миллиона гектаров (47% исследуемой площади). Посевные площади способствуют увеличению инфильтрации, что приводит к повышению запасов подземных вод. Рисунок 4.2a (тематический слой геологического строения) рассматривался как основной определяющий запасы подземных вод для водосбора бассейна реки Сава. Гранитные и гнейсовые породы занимают более 60% исследуемой площади. Эти горные породы характеризуются умеренными или низкими дебитами грунтовых вод ( $50$ - $100$  м<sup>3</sup>/сут), следовательно, высока вероятность того, что исследуемый район имеет ограниченные запасы подземных вод. Интересно отметить аллювиальные отложения в долине реки Саве, занимающие 3% исследуемой площади, считаются наиболее водообильными ( $100$ - $5000$  м<sup>3</sup>/сут).



На рис. 4.4а и 4.4b, показатель индекса развития растительности NDVI и близость к дренажной сети также показали, что водосбор, как правило, состоит из более слабых значений NDVI, показывающих низкую активность растительности. Расстояния менее 12 километров от рек также рассматривались в качестве потенциальных зон грунтовых вод, поскольку они выигрывают от бокового перемещения воды из рек, особенно когда уровень воды в водных объектах будет высоким.

#### **4.1.1 Пространственное распределение показателей ресурсного потенциала подземных вод в водосборном бассейне реки Саве**

На рисунке 4.5 ниже показана результирующая карта индекса ресурсного потенциала подземных вод, полученная после агрегирования факторов формирования подземных вод. Индексы были разделены на 4 различных класса с верхними границами: 0,25, 0,50, 0,75 и 1,00. Индексы представляют собой безразмерные величины, которые помогают прогнозировать потенциальные зоны развития подземных вод в районе [38].

Согласно карте индексов, их значения в диапазоне 0-2, 5 и 0,25-0,50 доминировали на площади водосбора с 93,6% (43 902 км<sup>2</sup>). В то время как диапазоны 0,5-0,75 и 0,75-1,0 составляли всего 6,4% (3002 км<sup>2</sup>) площади водосбора.

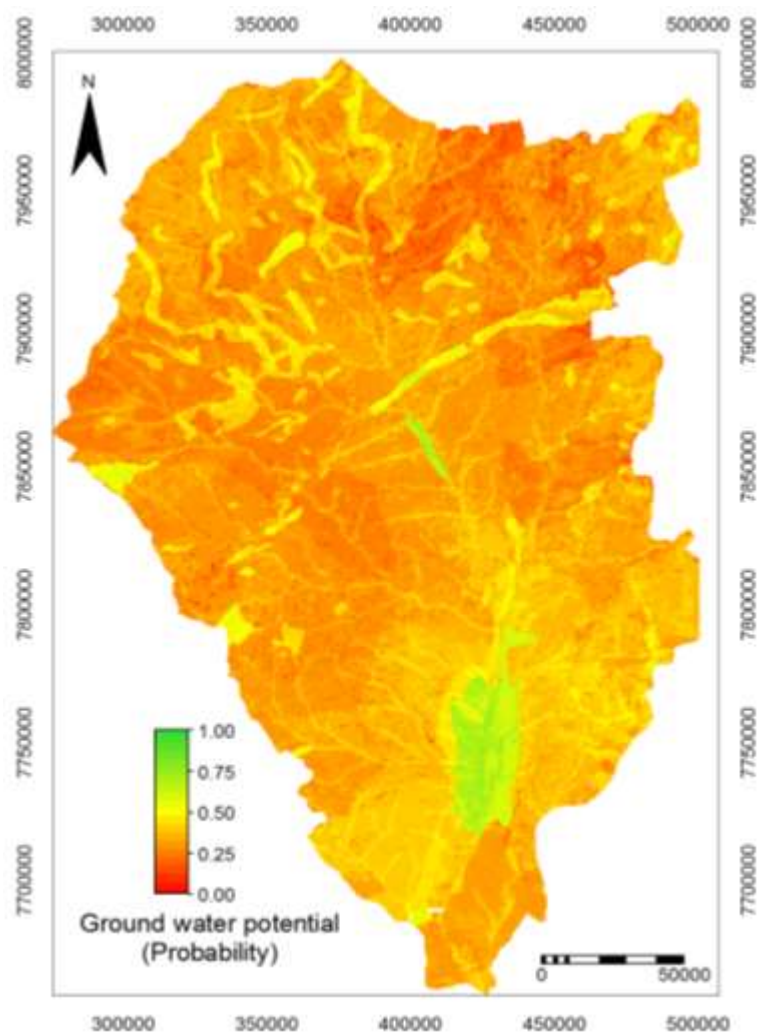


Рисунок 4.5-Карта индекса ресурсного потенциала подземных вод для водосборного бассейна реки Саве.

#### 4.2. Валидация карт индекса ресурсного потенциала подземных вод

Валидация карт индекса ресурсного потенциала подземных вод проводилась путем проведения корреляционного анализа с данными о продуктивности скважин. Дебит скважин варьировался от 0-5158 м<sup>3</sup>/сут. Сильная корреляция указывала бы на высокую достоверность при составлении карт ресурсного потенциала подземных вод. Для этого исследования карта индекса (рис.4.4) продемонстрировала довольно положительную корреляцию с данными скважины ( $r=0,66$ ), что указывает на довольно высокую точность метода, используемого для зонирования потенциальных зон локализации подземных вод на площади водосбора.

#### **4.3. Разработка карты ресурсного потенциала подземных вод**

На рис. 4.6 показано пространственное распределение зон ресурсного потенциала подземных вод водосборного бассейна реки Саве, после выполнения валидации индексной карты. Карта индекса была переклассифицирована в классы ресурсного потенциала подземных вод: низкого, умеренного и высокого с использованием инструмент нарезки в ILWIS.

По данным других исследователей, таких как Мартинелли и Хьюберт (1985), зоны низкого, умеренного и высокого потенциала соответствовали диапазонам  $1-10 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $10-100 \text{ м}^3/\text{сут}$  и  $>100 \text{ м}^3/\text{сут}$  соответственно. Таким образом, в данном исследовании была присвоена вышеуказанная классификация расходов подземных вод.

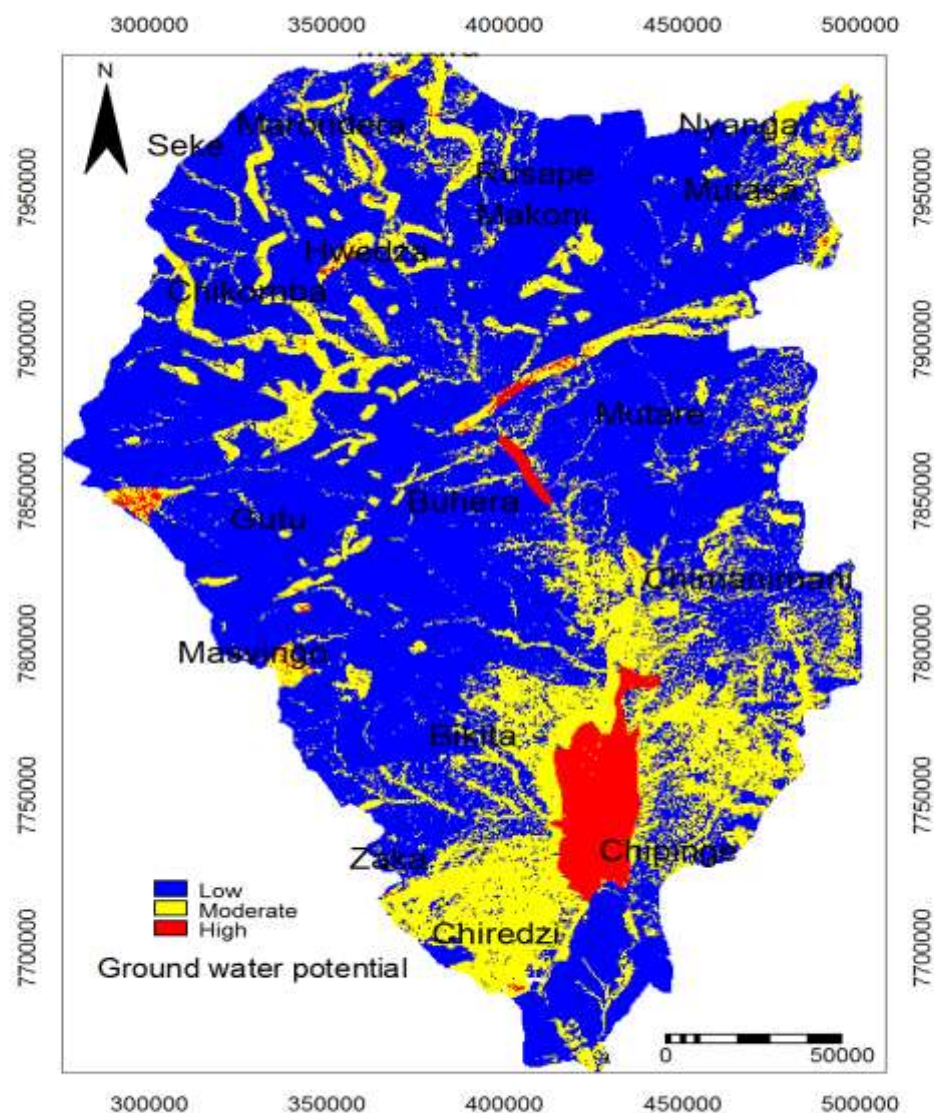


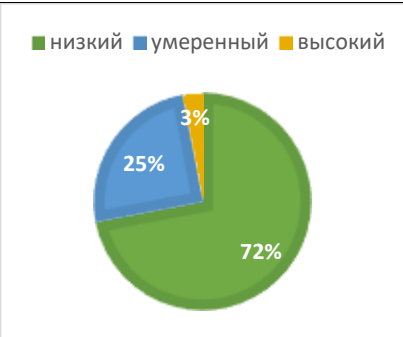
Рис 4.6- Зоны ресурсного потенциала подземных вод для водосбора бассейна р.Саве.

Как показано на рис. 4.6, некоторые участки сельских районов Чипинге, Чиредзи и Бикита, были определены как зоны с высоким ресурсным потенциалом подземных вод. Эти участки характеризуются минимальными отметками рельефа и расположены на небольшом расстоянии от русла реки (приуроченных к аллювиальным отложениям). Было установлено, что площадь зон с высоким

ресурсным потенциалом составляет 3% (1475 км<sup>2</sup>) от общей площади водосбора, при этом зоны умеренным и низким ресурсным потенциалом составляют 25% (11778 км<sup>2</sup>) и 72% (33650 км<sup>2</sup>) соответственно. Это указывает на то, что на большей части исследуемой территории преобладают площади с низким и умеренным ресурсным потенциалом грунтовых вод. Эти зоны включают в себя области такие, как Русапе, Мутаса, Мутаре и Гуту, которые входят в состав полей гранитных и гнейсовых горных пород, как показано на геологической карте (рис. 2.6). Гранитные и гнейсовые породы, которые характеризуются низкой инфильтрацией, плохим и сильно изменчивым потенциалом развития подземных вод неблагоприятны для бурения гидрогеологических скважин.

В таблице 4.1 ниже обобщены результаты картирования ресурсного потенциала подземных вод, главным образом пропорциональный выход для каждого потенциального класса и ареальный охват.

Таблица 4.1-Классификация зон ресурсного потенциальных подземных вод

Процентное покрытие площади	Площадь (км <sup>2</sup> )	Ресурсный потенциал подземных вод	Значение карты индекса	Дебит значения карты индекса (м <sup>3</sup> /сут)
 <p>■ низкий ■ умеренный ■ высокий</p>	1476	высокий	>0.55	>100 м <sup>3</sup> /сут
	11778	умеренный	0.37-0.55	10-100 м <sup>3</sup> /сут
	33650	низкий	0-0.37	1-10 м <sup>3</sup> /сут

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Участки, перспективные для поиска месторождений подземных вод, выделены по данным дистанционного зондирования земли. Использованы материалы цифровой модели рельефа (SRTM 3) и среднемасштабные космические снимки Landsat 8. Основным критерием для выделения перспективных участков служит показатель относительно небольшой глубины залегания подземных вод. В качестве косвенного признака глубины уровня подземных вод использован индекс развития растительности, известный как NDVI и дополнительные показатели. Для повышения информативности расчет индекса выполнен по космическим снимкам для наиболее засушливого периода.

Карта ресурсного потенциала подземных вод показывает, что на площади водосборного бассейна реки Саве преобладают зоны низкого и умеренного потенциала, охватывающие 45428 км<sup>2</sup>, что составляет 97% площади водосбора, таким образом, можно с уверенностью заключить, что исследуемая территория (бассейн водосбора р.Саве) имеет ограниченные запасы подземных вод.

Анализ полученных данных показывает, что наиболее перспективные участки для обнаружения месторождений подземных вод приурочены к нижнему течению р.Саве. Они характеризуются минимальными отметками рельефа и находятся на небольшом расстоянии от русла.

В геологическом разрезе максимальная водообильность ожидается в толще аллювиальных отложений. В сочетании с другими критериями этот признак можно считать достаточно надёжным поисковым критерием для поиска месторождений подземных вод.

Учитывая результаты исследований, интенсивные ирригационные работы в водосборе могут быть проведены только на площади 1476 км<sup>2</sup> (147575 га), которые расположены в зоне с высоким ресурсным потенциалом подземных вод. В то время как менее интенсивные ирригационные мероприятия могут проводиться в зонах с низким и умеренным потенциалом подземных вод.

## **5.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

В настоящее время исследования проводятся часто, так как технологии меняются очень быстро,однако экономическая оценка исследований в настоящее время является обязательной.Это важно, поскольку оценка коммерческой ценности проекта помогает найти источники финансирования для проведения научных исследований и коммерциализации их результатов.

Целью раздела "Управление финансами, ресурсоэффективность и ресурсосбережение" является определение перспектив и успешности исследовательского проекта по районированию потенциальных территорий подземных вод с использованием инструментов дистанционного зондирования и ГИС

В ходе такой оценки решаются следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

### **5.1 Предпроектный анализ:**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Вода,особенно подземные воды, - это особый товар в жизни, без которого люди не могут жить.Однако его зонирование в любой данной области является одним из наиболее важных факторов, способствующих развитию.Местоположение и количественная оценка подземных вод помогают обосновать стратегии адаптации к растущему спросу на подземные воды[39]

В последнее время наблюдается серьезный высокий спрос на подземные воды для различных целей, включая бытовые, ирригационные, животноводческие, производственные, горнодобывающие, строительные и медицинские цели и т.д. Наличие информации и карты, показывающей возможные районы, где можно получить грунтовые воды, создает бизнес для многих организаций, учреждений и компаний. Эти организации и компании автоматически становятся целевым рынком для исследовательского продукта. Будут привлечены самые разнообразные организации, в том числе те, которые занимаются планированием и управлением землепользованием, добычей подземных вод (размещение скважин и бурение), государственным и частным использованием подземных вод, медицинскими центрами, а также научно-исследовательскими институтами для дальнейших исследований и анализа.

Из оценки возможных рынков для результатов исследований (карта потенциала подземных вод) можно сделать вывод, что существует много организаций, занимающихся подземными водами, которые будут заинтересованы в использовании карты потенциала подземных вод в своей повседневной деятельности. Рынок услуг может быть сегментирован в соответствии с типом потребителей продукта или услуги, как показано в таблице 5.1 ниже.

Таблица 5.1-Карта сегментации рынка услуг по разработке Карты потенциала подземных вод.

		Услуга (продукт)	
		Добыча подземных вод в целях водоснабжения	Прогноз мест залегания подземных вод
Заказчики	Проектные организации		
	Министерство водных ресурсов, климата и сельского хозяйства		



### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Исследования по районированию потенциальных зон подземных вод также дают ответ на наиболее пугающий аспект размещения скважин многими бурильщиками. Таким образом, карта потенциала подземных вод также обеспечивает расчетные выходы подземных вод в любой заданной точке с границами карты. Будет важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок других конкурентов, особенно существующих методов, используемых при размещении грунтовых вод, таких как электрическое сопротивление и проводимость грунта с использованием электромагнитного поля в частотной области.

Подробный анализ конкурирующих разработок помогает сделать корректировку научных исследований для того, чтобы лучше противостоять своим конкурентам. Мы проведем этот анализ с использованием карты оценки, пример которой приведен в таблице ниже. В этом анализе Б1 ( $K_1$ ) является (конкурентной) точкой использования карты потенциала подземных вод, Б2 и Б3 являются (конкурентными) точками определения местоположения подземных вод по электрическому сопротивлению и проводимости грунта,

Таблица 5.2 – Анализ конкурентных технических:

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б1	Б2	Б3	$K_1$	$K_2$	$K_2$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Производительность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям пользователя)	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Качество	0,1	5	5	2	0,5	0,5	0,2
4. Энергоэкономичность	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
5. Надёжность	0,01	5	3	2	0,05	0,03	0,02

6.Функциональная мощность	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
7.Простота эксплуатации	0,01	5	4	5	0,05	0,04	0,05
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	3	4	3	0,03	0,04	0,03
3. Цена	0,1	2	4	4	0,2	0,4	0,4
4.Предполагаемый срок эксплуатации	0,01	3	3	3	0,03	0,03	0,03
5. Послепродажное обслуживание	0,01	2	3	2	0,02	0,03	0,02
6.Финансирование научной разработки	0,01	3	2	2	0,03	0,02	0,02
7. Срок выхода на рынок	0,01	3	2	2	0,03	0,02	0,02
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>53</b>	<b>47</b>	<b>39</b>	<b>3,14</b>	<b>2,81</b>	<b>2,19</b>

Согласно карте оценки, ясно, что новый исследовательский продукт (Карта потенциала подземных вод) является конкурентоспособным, поскольку он превосходит своего конкурента во многих отношениях. Основными преимуществами этого метода поиска подземных вод являются: качество, энергоэффективность, производительность, простота в использовании и его стоимость.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта[40]

### 5.1.3 SWOT – анализ

**Таблица 5.3 – Матрица SWOT – анализа**

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Простота применения и экспрессность метода С2. Адекватность разработки С3. Заявленная рентабельность и высокая эффективность.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Более высокая себестоимость. Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки Сл3. Отсутствие сертификации.
--	--	--

	С4.Надежность	
<b>Возможности:</b> В1. Быстрое продвижение на рынок. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Усовершенствование устройства	В1С1С2С3С4 – быстрое продвижение на рынок благодаря преимуществам этой карты потенциала подземных вод. В2С1С2С3С4- дополнительный спрос может возникнуть из-за универсальности карты потенциала подземных вод	В1Сл2 -возможно, не будет быстрого продвижения на рынок, потому что техника картирования подземных вод ранее не продавалась, и потребители не знают об этом. В2Сл1Сл2-появление дополнительного спроса может быть незначительным из-за несовершенства техники картирования подземных вод.
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Кризис У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции со стороны государства.	У2С1С2С3С4 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.	У1Сл1 – из-за более высокой стоимости сбора и обработки данных в ГИС могут возникнуть проблемы с продажей этого метода районирования подземных вод.

После SWOT-анализа следующим этапом является выявление соответствия сильных и слабых сторон научных исследований условиям внешней среды. Это соответствие или несоответствие обычно помогает определить, в какой степени необходимы стратегические изменения.

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+
	B3	0	0	0	0

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	-	+
	B2	+	+
	B3	0	0

Таблица 5.6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	0	0	0	0
	У2	+	+	+	+
	У3	0	0	0	0

Таблица 5.7 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	0	0
	У2	0	0	0
	У3	0	0	0

#### 5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для определения стадии жизненного цикла научной разработки необходимо оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Оценка степени готовности представлена в таблице 8.

Таблица 5.8 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	5	2
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	41	35

При проведении анализа по таблице 5.5, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где:  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

После заполнения таблицы было получено общее количество баллов по каждому направлению: 41 баллов-в зависимости от степени проработанности научного проекта; 35 балла – в зависимости от уровня знаний, доступных разработчику. По этим пунктам можно сказать, что перспективы этого развития средние.

### **5.1.5 Методы коммерциализации результатов науднотехнического исследования**

Для коммерциализации результатов проведенных исследований будут рассмотрены методы передачи интеллектуальной собственности и использования инструментов дистанционного зондирования и ГИС.

Разработка модели будет включать предоставление на основе контракта на проектирование одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов, связанных с разработкой карты на основе ГИС, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставный капитал предприятия или государства.

Эти методы коммерциализации будут наиболее продуктивными для данного проекта.

## **5.2 Инициация проекта**

### **5.2.1 Цели и результат проекта**

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются иначальные цели и содержание и фиксируются иначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать, и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Информация о заинтересованных сторонах проекта, которые активно участвуют в проект или интересы которых могут быть затронуты в результате завершения проекта, представлены в таблице 5.9

Таблица 5.9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Министерство водных ресурсов, климата и сельского хозяйства Зимбабве	Подготовка к работе высококвалифицированных специалистов
Сектора водопользования и управления водными ресурсами	Создание базы данных о подземных водах и карты, показывающей потенциальные площади подземных вод для всего водосборного бассейна.

В таблице 5.10 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 5.10 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Провести детальную оценку факторов формирования подземных вод водосборного бассейна Сава с использованием инструментов ГИС для создания карты потенциала подземных вод.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Пространственное представление потенциала подземных вод всего водосборного бассейна с оценочными дебитами Результаты должны быть представлены в виде карты, построенной в среде ГИС
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Результаты должны быть адекватными, а расчетные дебиты подземных вод должны быть подтверждены существующими дебитами скважин
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Сбор всех данных дистанционного зондирования, связанных с формированием подземных вод, и другой вспомогательной информации для обработки в среде ГИС.
	Гео-привязка границы водосборного бассейна и подготовка данных для использования в ГИС
	Провести обработку полученных данных;
	Входные веса для факторов формирования подземных вод и определение потенциальных зон подземных вод в водосборе.

### 5.2.2 Организационная структура проекта

Следующим шагом является определение следующих вопросов: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты. Данная информация представлена в таблице 5.11 ниже



Таблица 5.11 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1.	Кузеванов К.И., НИ ТПУ, к.г.н 0,5 ставки ОГ ИШПР	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2.	Мламбо П, магистрант ОГ ИШПР	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, Работа в среде ГИС, создание термических слоев грунтовых вод., карт, написание работы	1600
ИТОГО:				2200

### 5.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (табл. 5.12).

Таблица 5.12 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	<b>548 254.81рубля.</b>
3.1.1. Источник финансирования	Министерство водных ресурсов, климата и сельского хозяйства Зимбабве
3.2. Сроки проекта:	01.09.2019-31.05.2021
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	16.09.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2021

### 5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

### 5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 5.1)



Рисунок 5.1 – Иерархическая структура работ

### 5.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблица 5.13).

Таблица 5.13– Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.19	07.09.19	МламбоП, Кузеванов К.И.
Согласование плана работ	8	08.09.19	15.09.19	Мламбо.П, Кузеванов К.И.
Литературный обзор	133	16.09.19	31.01.20	Мламбо.П,
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	290	01.02.20	17.12.20	Мламбо.П, Кузеванов К.И..
Написание отчета	166	20.12.20	31.05.21	Мламбо.П,
<b>Итого:</b>	<b>604</b>			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (таблица 5.13).

Таблица 5.14 – Календарный план график проведения НИОКР по теме «Районирование водосборного бассейна р. саве с целью поисков месторождений подземных вод»

Наименование этапа	Т, дней	2019				2020												2021				
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Утверждение темы магистерской диссертации	7																					
Согласование плана работ	8																					
Литературный обзор	133																					
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	290																					
Написание отчета	166																					



- Мламбо П



- Кузеванов К.И., Мламбо П

## 5.4 Бюджет научного исследования

Стоимость создания проекта необходимо знать, и эти затраты в целом включают все расходы, понесенные на выполнение комплекса работ, составляющих содержание этой разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение

данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- ❖ материальные затраты НТИ;
- ❖ затраты по основной заработной плате исполнителей темы;
- ❖ затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы;
- ❖ отчисления внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- ❖ накладные расходы (прочие расходы)

### 5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья расходов включает в себя стоимость материалов, приобретенных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, которые расходуются непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется соответствующими ценниками на единицу продукции и количеством материалов.

Таблица 5.15 – Материальные затраты

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма
Персональный компьютер	65000	1	65000
Принтер	14000	1	14000
Пакеты программного обеспечения ГИС	80000	1	80000
Цифровая камера	21500	1	21500
Всего за материалы			180500
Транспортно-заготовительные расходы (5%)			9025
<b>Итого по статье С<sub>м</sub></b>			<b>189525</b>

#### 5.4.2 Основная заработная плата исполнителей

Размер расходов на заработную плату определяется исходя из трудоемкости выполняемой специалистами работы и действующей системы оплаты труда и тарифных ставок. Базовая заработная плата включает в себя премию, выплачиваемую ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или заработной платы. Расчет базовой заработной платы обобщен в таблице 5.16 ниже.

Таблица 5.16 – Расчет базовой заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн		Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	
			И	НР	И	НР
1	Постановка задачи	НР	6,24	–	1741,89	–
2	Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	5.23	17.76	1741.9	841.37
3	Разработка Календарного плана	НР, И	6.24	0.6	1741.9	841.37
4	Обсуждение литературы	НР, И	6.52	8.16	1741.9	841.37
5	Выбор технологии исследования	НР, И	15.11	10.58	1741.9	841.37
6	Выбор методики Проведения исследования	НР, И	17.75	12.44	1741.9	841.37
7	Проведения исследования	И	-	19.45	-	841.37

8	Оформление Расчетнопояснительной записки	И	-	15.85	-	841.37
9	Оформление Графического материала	И	-	6.48	-	841.37
10	Подведение итогов	НР, И	5.62	9.36	-	841.37
Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб					109739	84979.37

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).[40]

Основная заработная плата ( $Z_{доп}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при

отпуске в 48 рабочихдней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, рабочие дни (таблица 15).

Согласно таблице окладов ППС и НС

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{np} + k_d) \cdot k_p$$

где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;  $k_{np}$  – премиальный коэффициент, (определяется «Положением об оплате труда»);  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);  $k_p$  – районный коэффициент

$Z_m = 33162,87$  руб. – месячный оклад руководителя.

$Z_m = 14874,45$  руб. – месячный оклад студента в роли младшего научного сотрудника

Таблица 5.17 – Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	106	106
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	198	198

$Z_{дн1} = Z_m \cdot M / F_d = 33162,87 \cdot 10,4 / 189 = 1741,89$  руб. – заработная плата руководителя за 1 день;

$Z_{дн2} = Z_m \cdot M / F_d = 14874,45 \cdot 11,2 / 189 = 841,38$  руб. – заработная плата



руководителя за 1 день;

$Z_{осн1} = 1741,89 \cdot 63 = 109739,07 \text{руб.}$  – руководитель;

$Z_{осн2} = 841,38 \cdot 101 = 84979,38 \text{руб.}$  – студент.

$Z_{зп1} = 109739,07 + 16460,86 = 126199,93 \text{руб.}$  –руководитель;

$Z_{зп2} = 84979,38 + 12746,91 = 97726,29 \text{руб.}$  – студент.

### 5.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей

формуле:  $Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}$

где  $Z_{доп1}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).Примем  $K_{доп} = 0,15$ :

$Z_{доп1} = 0,15 \cdot 109739,07 = 16460,86 \text{руб.}$  – руководитель;

$Z_{доп2} = 0,15 \cdot 84979,38 = 12746,91 \text{руб.}$  – студент.

### 5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = K_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$$

где  $K_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме

Таблица 5.18 – Заработная плата исполнителей НТИ, руб

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	109739,07	16460,86
Студент-дипломник	84979,38	12746,91
Зарплата исполнителя	194718.45	29207.77
Итого по разделу С <sub>зп</sub>	223926.22	

Таблица 5.19 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	109739,07	16460,86
Студент-дипломник	84979,38	12746,91
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30.2%	30.2%
<b>Итого</b>	<b>58804.97 + 8820.75 = 67625.72</b>	

$Z_{внеб} = K_{внеб} \cdot (Z_{осн1} + Z_{доп1}) = 126199,93 \cdot 0,3 = 37859,97 \text{руб.} - \text{руководитель};$

$Z_{внеб} = K_{внеб} \cdot (Z_{осн2} + Z_{доп2}) = 97726,29 \cdot 0,3 = 29317,88 \text{руб.} - \text{студент-дипломник}$

#### 5.4.5 Накладные расходы.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где:  $K_{накл}$  – коэффициент накладных расходов

$$C_{НАКЛ}=0.3(194718.45+29207.77)=67177.87$$

#### 5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная стоимость научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат на проект, который защищается научной организацией при формировании договора с заказчиком. в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции или услуг.[3] Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.20 ниже.

Таблица 5.20 – Расчёт бюджета затрат НТИ

№ п.п.	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Б1	Б2	Б3
1	Материальные затраты НТИ (сырье, материалы, специальное оборудование)	189525.00	193000.00	220000.00
2	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	194718.45	187000.00	193000.00
3	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	29207.77	61000.00	45000.00
4	Отчисления во внебюджетные фонды	67625.72	73150.00	74600.00
5	Накладные расходы	67177.87	75000.00	75000.00
6	Итого бюджет затрат НТИ	<b>548 254.81</b>	668076,8	607600.00

Б1-Карта потенциала подземных вод ;Б2- метод проводимости грунта

Б3- Метод электрического сопротивления

#### 5.4.7 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная (табл 5.21). Для научного проекта выбираем проектную организационную структуру.

Таблица 5.21 – Организационная структура проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

## 5.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

### 5.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- к окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где:  $ЧДП_{опt}$  – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

$I_0$  – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

$t$  – номер шага расчета ( $t = 0, 1, 2 \dots n$ )

$n$  – горизонт расчета;

$i$  – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если  $NPV > 0$ , то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 5.23. При расчете рентабельность проекта составляла 20 %, амортизационные отчисления 10 %.  $Ag = C_{перв} * Na / 100$

Таблица 5.23 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	822,382.22	822,382.22	822,382.22	822,382.22
2	Итого приток, руб.	0	822,382.22	822,382.22	822,382.22	822,382.22
3	Инвестиционные издержки, руб.	-548,254.81	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	191,889.18	191,889.18	191,889.18	191,889.18
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	630,493.03	630,493.03	630,493.03	630,493.03
6	Налоги 20 %, руб. (5*20%)	0	126,098.61	126,098.61	126,098.61	126,098.61
7	Итого отток, руб.	-548,254.81	317,987.79	317,987.79	317,987.79	317,987.79
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	504,394.43	504,394.43	504,394.43	504,394.43
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	-548,254.81	528,854.38	528,854.38	528,854.38	528,854.38
10	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	<u>0.83</u>	<u>0.69</u>	<u>0.58</u>	<u>0.48</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-548,254.81	<b>440,535.69</b>	<b>367,024.94</b>	<b>305,677.83</b>	<b>254,907.81</b>
12	<b><math>\sum</math> ЧДД</b>	<b>1,368,146.27</b>				
13	Итого NPV, руб.	1,916,401.08				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где:  $i$  – ставка дисконтирования, 20 %;

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 1,916,401.08 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

**Индекс доходности (PI)** – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

$I_0$  – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{1916401.08}{548254.81} = 3,50$$

Так как  $PI > 1$ , то проект является эффективным.

**Внутренняя ставка доходности (IRR).** Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования  $i$  можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования  $i$ , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 5.20 и на рисунке 5.2

Таблица 5.24 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки, руб.	<b>-548254.8</b>	<b>528854.38</b>	<b>528854.38</b>	<b>528854.38</b>	<b>528854.38</b>	NPV, руб.
2	Коэффициент дисконтирования						
	0.1	1	<b>0.909</b>	0.826	0.751	0.683	
	0.2	1	0.833	0.694	0.578	0.482	
	0.3	1	0.769	0.592	0.455	0.35	
	0.4	1	0.714	0.51	0.364	0.26	
	0.5	1	0.667	0.444	0.295	0.198	
	0.6	1	0.625	0.39	0.244	0.153	
	0.7	1	0.588	0.335	0.203	0.112	
	0.8	1	0.556	0.309	0.171	0.095	
	0.9	1	0.526	0.277	0.146	0.077	
	1	1	0.5	0.25	0.125	0.062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0.1	-548254.81	480,728.63	436,833.72	397,169.64	361,207.54	1,127,684.72
	0.2	-548254.81	440,535.70	367,024.94	305,677.83	254,907.81	819,891.47
	0.3	-548254.81	406,689.02	313,081.79	240,628.74	185,099.03	597,243.78
	0.4	-548254.81	377,602.03	269,715.73	192,502.99	137,502.14	429,068.08
	0.5	-548254.81	352,745.87	234,811.34	156,012.04	104,713.17	300,027.62
	0.6	-548254.81	330,533.99	206,253.21	129,040.47	80,914.72	198,487.57
	0.7	-548254.81	310,966.38	177,166.22	107,357.44	59,231.69	106,466.91
	0.8	-548254.81	294,043.04	163,416.00	90,434.10	50,241.17	49,879.49
	0.9	-548254.81	278,177.40	146,492.66	77,212.74	40,721.79	- 5,650.22
	1	-548254.81	264,427.19	132,213.60	66,106.80	32,788.97	- 52,718.26

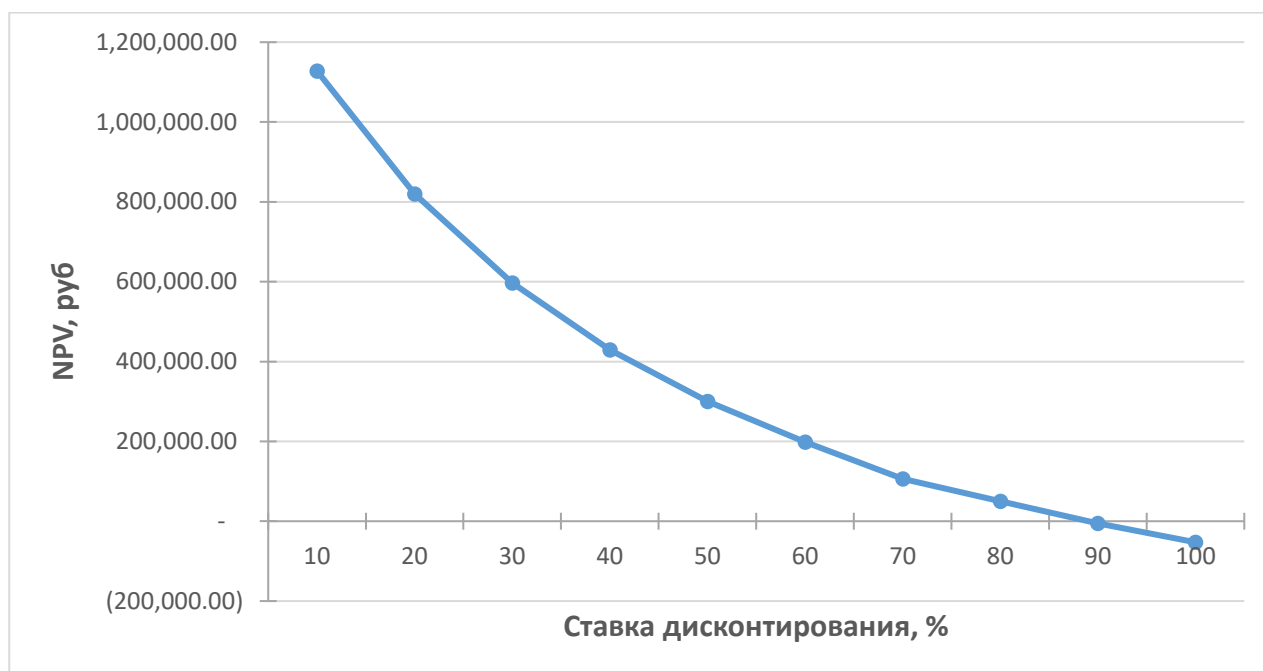


Рисунок 5.2 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,85

Запас экономической прочности проекта:  $85\% - 20\% = 65\%$

*Дисконтированный срок окупаемости.* Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 5.25).



Таблица 5.25 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ( $i=0,20$ ), руб.	-548254.8	440535.69	367024.9	305677.8	254907.8
2	То же нарастающим итогом, руб.	-548254.8	-107719.115	259305.8	564983.6	819891.5
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + (107719.1 / 367024.9) = 1,3$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 5.26).

Таблица 5.26 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие информации о пространственном распределении запасов подземных вод и их потенциальных зонах в пределах водосборного бассейна.	Получены данные о распределении запасов подземных вод и потенциальных зонах
Отсутствие расчетных дебитов подземных вод для всех районов в пределах водосборного бассейна.	Получены расчетные показатели дебиты подземных вод для всех районов в пределах водосборного бассейна.

### 5.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу

расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где:  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{548254.80}{607600} = 0.90$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{589150}{607600} = 0.97$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{607600}{607600} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл. 5.27).

Таблица 5.27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

№ п.п.	Критерии	Весовой коэффицие нт параметра	Б1	Б2	Б3	$I_m^p$	$I_m^a$	$I_m^a$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Повышение производительности труда пользователя	0,10	5,00	4,00	4,00	0,50	0,40	0,40
2	Удобство в эксплуатации	0,10	5,00	4,00	2,00	0,50	0,40	0,20
3	Энергоэкономичность	0,10	4,00	4,00	4,00	0,40	0,40	0,4
4	Надежность	0,26	5,00	3,00	3,00	1,30	0,78	0,78
5	Конкурентоспособность продукта	0,11	5,00	5,00	3,00	0,55	0,55	0,33
6	Цена	0,15	4,00	4,00	3,00	0,60	0,60	0,45
7	Срок выполнения работ	0,13	4,00	4,00	4,00	0,52	0,52	0,52
8	Уровень проникновения на рынок	0,05	5,00	5,00	3,00	0,25	0,25	0,15
Итого:		1,00	35,0	32,0	28,0	<b>4.62</b>	<b>3.9</b>	<b>3.23</b>

$$I_m^p = 4.62 ; \quad I_1^A = 3.9 ; \quad I_2^A = 3.23$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\Phi}^p} = \frac{4.62}{0.9} = 5.12$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\Phi}^{a1}} = \frac{3.9}{0.97} = 4.02$$

$$I_{\text{Финр}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{Ф}}^{a2}} = \frac{3.23}{1} = 3.23$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a1}} = \frac{5.12}{4.02} = 1.27$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a1}} = \frac{5.12}{3.23} = 1.59$$

где:  $\mathcal{E}_{cp}$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 5.28.

Таблица 5.28 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,0	0,97	0,90
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,62	3,9	3,23
3	Интегральный показатель эффективности	5,12	4,02	3,23
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.59	1.27	

**Вывод по разделу:** Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

Проведя анализ показателей эффективности инвестиций, получили чистую текущую стоимость (NPV) – 1576814,9 руб. Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, NPV является положительной. Срок окупаемости проекта (PP) составил 1,3 года. Внутренняя ставка доходности (IRR) – 0,85 , что позволяет признать инвестиционный проект экономически оправданным, так как выполнено неравенство  $IRR > i$ . Индекс доходности (PI) – 3,0; что больше единицы, следовательно, данная инвестиция приемлема. Проект является ресурсоэффективным, а также имеет высокий запас финансовой прочности и короткий срок окупаемости.

## **6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Чтобы каждое предприятие было успешным, оно должно быть уверено в том, что оно способствует как здоровью, так и безопасности своих сотрудников в ходе их работы[42].

Целью данной работы является изучение данных дистанционного зондирования и их использование при оценке наличия подземных вод в бассейне реки Саве.

Факторы формирования подземных вод генерируются и демонстрируются в форматах карт, которые затем обрабатываются на компьютерах с использованием программного обеспечения ГИС для дальнейшего анализа и районирования районов с потенциалом подземных вод в водосборе.

Место работы-водосборный бассейн р.Саве, расположенный на юго-востоке Зимбабве примерно на 18-21, 5 градуса южной широты и 31-33 градуса восточной долготы. Водосбор реки Саве занимает площадь 48 564 квадратных километров, которая делится на пять административных провинций Маникаленд, Масвинго, Мидлендс, Машоналенд Ист и Матабелленд. Как указывалось ранее, оценка факторов формирования подземных вод включает использование компьютеров на уровне камеральных исследований, а также наземные исследования и сбор данных, которые проводятся в полевых условиях, такие как измерение существующих дебитов скважин. Таким образом, в разделе будут описаны как полевые, так и камеральный этапы.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Охрана труда и техника безопасности – это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия[43].

Нормальная продолжительность рабочего времени сотрудников не может превышать 40 ч в неделю. Основным режимом работы является пятидневная рабочая неделя с двумя выходными днями. При пятидневной рабочей неделе продолжительность ежедневной работы определяется правилами внутреннего трудового распорядка или графиками сменности, составляемыми с соблюдением установленной продолжительности рабочего рабочей недели и утверждаемыми администрацией по согласованию с профсоюзным комитетом. Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением и нервно-эмоциональной нагрузкой оператора, высокой напряженностью зрительной работы и достаточно большой нагрузкой на мышцы рук при работе с клавиатурой. В процессе работы с компьютером необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха.

Согласно СанПиН 2.2.2.542-96 (СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы») [44] длительность работы для инженеров не более 6 часов. Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья профессиональных пользователей должны устанавливаться регламентированные перерывы в течение рабочего дня. После каждого часа работы за компьютером следует делать, перерыв на 5-10 минут. Необходимы упражнения для глаз и для всего тела.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя (требования к организации рабочих мест пользователей персонального компьютера). Согласно СанПиН 2.2.2.542-96 и СанПиН 1.2.3685-21 при организации рабочего персонального компьютера (ПК) необходимо соблюдение следующих правил:

- ❖ расстояние между рабочими столами с видеомониторами должно составлять не менее 2мв направлении тыльной стороны монитора, и не менее 1,2м между боковыми поверхностями мониторов.110
- ❖ расстояние от монитора до глаз пользователя должно быть не менее 600-700мм, при определенном размере шрифта допускается величина 500 мм.

- ❖ рабочее место должно располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева
- ❖ монитор, клавиатура и корпус компьютера должны находиться прямо перед пользователем и не требовать поворота головы или корпуса тела.
- ❖ окна в помещениях с ПК быть оборудованы должны регулируемые устройства (жалюзи, занавески, внешние козырьки и т. д.)

В таблице 6.1 ниже приведены основные элементы производственного процесса, которые формируют вредные и опасные факторы.

Таблица 6.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие вредные и опасные факторы

Факторы	Этапы работ		Нормативные документы
	Полевой	Камеральный	
1.Недостаточная освещенность рабочей зоны	-	+	ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутризданий [55] ;СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение[56]
2.Превышение уровня шума	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) [57]; ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ)[58]
3.Отклонение показателей микроклимата	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ)[59] ; СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование Воздуха[60]
4.Электрический ток	-	+	ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда(ССБТ) Электробезопасность [61] ; ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).Электробезопасность[62]
5.Превышение уровня электромагнитных излучений	+	+	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"[65]
6.Пожароопасность	+	+	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [63] ; СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [64]



## **6.2 Производственная безопасность**

### **6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению в полевых условиях**

#### Изменение показателей микроклимата на открытом воздухе

При выполнении работ на открытой площадке специалисты должны быть обеспечены спецодеждой, поэтому в теплое время года рекомендуется использовать антиэнцефалитный костюм, состоящий из 100% хлопка с водоотталкивающим покрытием. Для предотвращения обморожения рабочие должны быть обеспечены специализированной одеждой для низких температур, которая должна соответствовать всем требованиям, соответствовать по размеру и не ограничивать движения-спецодеждой с теплозащитными свойствами по ГОСТ 27574-87 [ГОСТ 27574-87 Женские костюмы для защиты от морозов общего промышленного загрязнения и механических воздействий. Технические условия] или ГОСТ 27575-87[ГОСТ 27575-87.Мужские костюмы для защиты от общего промышленного загрязнения и механических воздействий. Технические характеристики. Также профилактика перегрева и переохлаждения осуществляется путем организации рационального режима труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов на отдых.

#### Изменение показателей микроклимата в помещении

Особое влияние на микроклимат оказывают источники в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 [СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений] температура воздуха и поверхности, относительная влажность, скорость движения воздуха и интенсивность теплового облучения[46]. Воздействие высоких температур и теплового излучения на человека может вызвать перегрев.

Охлаждение и переохлаждение на работе происходят в результате воздействия низких и высоких температур на организм. низкие температуры воздуха, иногда в сочетании с высокой влажностью. Местное и общее

охлаждение организма является причиной ряда заболеваний. Переохлаждение организма приводит к простудным заболеваниям – стенокардии, острым респираторным заболеваниям, пневмонии. В то же время снижается и общая иммунологическая резистентность организма.

В целях повышения эффективности работы персонала, работающего в офисных условиях, устанавливаются нормы производственного микроклимата. Оптимальные показатели применимы ко всей рабочей среде. зона, с учетом избытка тепла, сложности выполняемых работ и сезона года, а допустимые, в свою очередь, устанавливаются отдельно для постоянных и непостоянных рабочих мест в тех случаях, когда невозможно обеспечить оптимальные нормы по технологическим или экономическим причинам. Оптимальные и допустимые нормы микроклимата для работ различных категорий тяжести указаны в ГОСТ 12.1.005-88 [45]. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны], СанПиН 2.2.4.548-96[СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Наша работа в помещении относится к категории Ib-работа с высокой энергоемкостью 121-150 ккал / час, выполняемых сидя, стоя или при ходьбе и сопровождающихся некоторыми физическими нагрузками.

Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях обеспечиваются системами кондиционирования воздуха, а допустимые параметры - обычными системами вентиляции и отопления. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха помещений проектируется в соответствии с требованиями СП 60.13330.2012 [СП 60.13330.2016] Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. В течение смены при обеспечении оптимальных значений микроклимата на рабочем месте параметры не должны выходить за пределы указанных в таблице 6.2 ниже значений.

Таблица 6.2 - Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне

<i>Сезон года</i>	<i>Категория работ</i>	<i>Температура, °С</i>	<i>Относительная влажность, %</i>	<i>Скорость движения воздуха, м/сек</i>
Холодный	Іб	21 - 23	60-40	0,2
Теплый	Іб	22 - 24	60-40	0,3

Для поддержания оптимальных значений микроклимата используется система отопления и кондиционирования воздуха, для повышения влажности воздуха в помещении следует применять увлажнители воздуха с дистиллированной или кипяченой питьевой водой.

### **Превышение уровня наружного шума на открытом воздухе .**

Наиболее важной причиной образования шума является транспорт, поскольку рабочее место находится рядом с основными дорогами, а также различными механизмами. Длительное воздействие шума негативно сказывается на нервной системе, возникают спазмы сосудов, возникает утомляемость, что снижает производительность труда. В соответствии с *[ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности]* норма на открытых площадках составляет 80 дБА [47]. В качестве защиты используются различные наушники. При необходимости сокращается продолжительность рабочего времени.

### **Превышение уровня шума в помещении.**

Основной источник источником шума в зданиях различного назначения является технологическое и инженерное оборудование(компьютеры и кондиционеры). Шум , возникающий при работе производственного оборудования и превышающий нормативные значения, влияет на центральную и вегетативную нервную систему человека, органы слуха. Шум ухудшает условия труда, оказывает вредное воздействие на организм человека-затрудняет понимание речи, вызывает необратимые изменения в органах слуха , повышает утомляемость. В этом случае шум может создаваться работающим оборудованием (воздушными установками (воздуходувкой), преобразователи напряжения). Предельно допустимые значения, характеризующие шум, регулируются в СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Защита от шума должна достигаться путем разработки шумозащитного оборудования, использования средств и методов коллективной защиты и индивидуальной защиты, а также строительных и акустических методов . Основные меры по снижению шума: защита от шума барьерами, использование средств индивидуальной защиты от шума, таких как ушные вкладыши, наушники и шлемофоны.

### **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Освещение рабочих мест внутри помещения характеризуется освещенностью и яркостью. Рабочее место при камеральных работах, как правило должно быть оборудовано совместным освещением. Искусственное освещение обеспечивается электрическими источниками света и применяется для работы в темное время суток, а днем при недостаточном естественном освещении. Источниками света при искусственном освещении являются газоразрядные лампы низкого и высокого давления и лампы накаливания. Нормирование освещенности производится в соответствии с межотраслевыми нормами и правилами СП52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.[48]

Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*] - требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютерное оборудование, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк соответственно. Рекомендуемая освещённость для работы с экраном дисплея составляет 200 лк, а при работе с экраном в сочетании с работой над документами - 400 лк [СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания]

В помещении используются люминесцентные лампы общего освещения, на столах используются лампы - световые индикаторы в норме. Для поддержания нормативных значений освещенности в помещениях необходимо не реже двух раз в год тщательно очищать окна, оконные проемы и светильники, а также

проводить своевременную замену перегоревших ламп на лампы рекомендованных производителей

### **Превышение уровня электромагнитных излучений на открытом воздухе**

Минимальные уровни электромагнитного излучения не очень опасны, и люди могут работать в полевых условиях при таких обстоятельствах. При избытке воздействие электромагнитного излучения на организм человека может привести к нарушению работы нервной и сердечно-сосудистой систем, к изменению состава крови. Степень воздействия зависит от диапазона частот, интенсивности, продолжительности излучения. Предельно допустимые уровни электрических полей регламентируются СанПиН 2.2.4.3359-16 [СанПиН 2.2.4.3359.Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах] и ГОСТ 12.1.006-84 [ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ [50]. Электромагн.поля радиочастот. Общие требования безопасности]. В качестве средств индивидуальной защиты от электромагнитных полей промышленной частоты служат специальные защитные комплекты – экранирующие. К средствам коллективной защиты можно отнести стационарные экраны и съемные экраны.

### **Превышение уровня электромагнитных излучений в помещении**

Компьютеры хороши и полезны, когда дело доходит до обработки и хранения данных, однако они представляют большую угрозу и источник электромагнитного и ионизирующего излучения, когда люди работают в помещениях. Наибольшую опасность для здоровья пользователя представляет электромагнитное излучение монитора, что является причиной появления в пространстве перед дисплеем электростатического, а вокруг дисплея – электромагнитного поля, спектральные составляющие которого сосредоточены в диапазоне частот 5 Гц– 400 кГц. Предельно допустимые уровни ионизирующего облучения в диапазоне радиочастот определяются ГОСТ 12.1.006-84 [ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности], безопасные уровни излучений регламентируются СанПиН 1.2.3685-21 [СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические

нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания)]] [65]

Таблица 6.3 - Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений

Наименование параметров		Уровни электромагнитных полей
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц м	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

В таблице выше приведены допустимые значения параметров неионизирующего электромагнитного излучения [51]. Основными методами защиты от электромагнитных излучений являются рациональное размещение излучающих объектов, ограничение места и времени нахождения работающих в электромагнитном поле, защита расстоянием, т.е. удаление рабочего места от источника излучений.

### Электрический ток

Дистанционное зондирование и операции с ГИС основаны на компьютерах, поэтому большая часть работы выполнялась с помощью моего портативного персонального компьютера, а иногда и других компьютеров.

Поэтому необходимо обеспечить электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление]. Опасность поражения людей электрическим током появляется при

несоблюдении мер безопасности, а также при отказе или неисправности электрического оборудования[52]. В данном случае существует опасность электрического поражения в следующих случаях: при непосредственном соприкосновении токоведущими частями во время ремонта ПК; при соприкосновении с токоведущими частями, оказавшимися под напряжением; при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением. Имеется опасность короткого замыкания.

Безопасность при работе с электроустановками регулируется ГОСТ 12.1.019-2017 [ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Электробезопасность. Защитное заземление, обнуление] и ГОСТ 12.1.038–82 [ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни касательных напряжений и токов. Допустимым током считается ток, при котором человек может освободиться от электрической цепи. Его величина зависит от скорости тока, проходящего через тело человека: в течение более 10 секунд – 2 мА, в течение 10 секунд или менее – 6 мА[53]

Перед началом работ необходимо проверить исправность заземления, включить выключатель и включить электрическое питание компьютера, на котором планируется выполнение работ. Оборудование должно быть изолировано проводящими частями. Применение защитных мер регламентируется Правилами устройства электроустановок [ПУЭ " Правила устройства электроустановок», издание 6. - М.: Минэнерго РФ, 2000] и правила охраны труда при эксплуатации электроустановок. Эти документы устанавливают требования к персоналу, выполняющему работы в электроустановках, определяют порядок и условия производства работ, а также рассматривают организационные и технические меры по обеспечению безопасности работ.

### **Пожароопасность**

Пожароопасность, является наиболее опасной и разрушительной опасностью. Источниками возгорания могут быть электрические схемы от ПЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате различных

нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать возгорание горючих материалов. Для отвода избыточной теплоты в ПК существуют системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Пожарная безопасность в помещении регламентируется СП 112.13330.2011 [СП 112.13330.2011. Пожарная безопасность зданий и сооружений. СНиП 21-01-97\*] и ГОСТ 12.1.004-91 [ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования]. Помещение для работы по пожарной и взрывной опасности относится к категории Г (умеренная пожароопасность) согласно СП 12.13130.2009 [54].

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. В помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники. Основные средства пожаротушения электроустановок под напряжением являются хладоны, порошки, диоксид углерода. Пожарный датчик, расположенный в помещении, реагирует на появление дыма (дымовой извещатель).

### **6.3 Экологическая безопасность**

Работа включает в себя несколько полевых оценок, и большая часть работы основана на компьютере и проводится в здании, поэтому мы уверены, что работа является экологически чистой. Нет никакой опасности для окружающей среды.

### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. Принимая во внимание место работы, возможные чрезвычайные ситуации могут включать землетрясения, вспышки пожаров и автомобильные



аварии во время полевых оценок, но наиболее опасным и вероятным случаем является пожар.

### ***Пожар***

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при работе с персональным компьютером является пожар на рабочем месте. Источниками возгорания могут быть электрические схемы от ПЭВМ или приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, где в результате различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать возгорание горючих материалов.

**Пожарная безопасность** представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов. Все помещения должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения (багры, ведра, огнетушители, сухой песок). Подъезды и подходы к водоисточникам, местам расположения противопожарного инвентаря и оборудования всегда должны быть свободны, в ночное время освещаться, а зимой очищаться от снега. Помещение лаборатории и камеральное помещение по пожарной и взрывной опасности относятся к категории В – пожароопасность.

В соответствии с п.109 ППБ-01-03 каждый гражданин при обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т.п.) должен:

- Незамедлительно сообщить об этом по городскому телефону 01, при этом необходимо назвать адрес объекта, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию;
- Принять по возможности меры по эвакуации людей, тушению пожара (воспользоваться огнетушителем) и сохранности материальных ценностей;
- В случае неучастия в пожаротушении эвакуироваться за пределы опасной.

## **Заключение**

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» были рассмотрены правовые вопросы обеспечения безопасности, обозначены вредные и опасные факторы воздействия на работающего в полевых и камеральных условиях и др. По результатам работы были предложены методы по устранению каждого из вредных или опасных факторов. Кроме того были обозначены действия в случае возникновения. В ходе рассмотрения экологической безопасности, не было выявлено негативного воздействия на окружающую среду и на объект исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zimbabwe Report, “Water Resource Management, Supply and Sanitation (chapter 7)”.
2. Government of Zimbabwe (2015). Zimbabwe National Climate Change Response Strategy. Ministry of Environment and Natural Resources Management, Harare.
3. Zimbabwe National Water Policy – August 2012
4. Mudimbo, D., Owen, R., Crane, E., Upton, K., O Dochartaigh, B.E. and Bellwood-Howard, I. 2018. Africa Groundwater Atlas: Hydrogeology of Zimbabwe.
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Geography\\_of\\_Zimbabwe](https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_Zimbabwe).
6. Гидрогеологического районирования территории Африка (Е.А Востокова, Н.А. Маринов, Р.И. Траченко, Л.Й. Флерова).
7. Nhapi, I. 2004. Options for wastewater management in Harare, Zimbabwe. PhD thesis submitted to Wageningen University and UNESCO-IHE, The Netherlands. London, United Kingdom: Taylor and Francis Group.
8. <http://www.zinwa.co.zw/catchments/save-catchment/>
9. Chikodzi D (2013) Groundwater Resources of Zimbabwe: An Assessment of Fluctuations. 2: 629 doi.
10. Foster, S. and Ait-Kadi, M. 2012. Integrated water resources management (IWRM): How does groundwater fit in? Hydrogeology Journal, vol. 20(3), pp. 415-418.
11. Jasmin, I. and Mallikarjuna, P., 2011. Review: Satellite-based remote sensing and geographic information systems and their application in the assessment of groundwater potential, with particular reference to India. Hydrogeology Journal, vol. 19(4), pp. 729–740
12. Van Camp, M., Mjemah, I. C., Al Farrah, N. and Walraevens, K., 2013. Modeling approaches and strategies for data-scarce aquifers: example of the Dar es Salaam aquifer in Tanzania. Hydrogeology Journal, vol. 21(2), pp. 341-356.
13. PETER H. GLEICK, THE WORLD'S WATER 2000-2001 233 (2000)
14. Шварцев С.Л. III 33 Общая гидрогеология: Учебн. для вузов — М.: Недра, 1996. -423 с: ил
15. Chikodzi, D., 2013. Analysis of Monthly and Seasonal Groundwater Fluctuations in Zimbabwe: A Remote Sensing Perspective. Hydrology: Current Research, 2014. Retrieved from: <http://www.omicsonline.org/analysis-of-monthly-and->

seasonalgroundwater-fluctuations-in-zimbabwe-a-remote-sensing-perspective-2157-7587.S1-003.php?aid=12065 [Accessed October, 13, 2015]

16. Innocent Muchingami, Constant Chuma, Mervin Gumbo, Dumisani Hlatshwayo and Robin Mashingaidze 2019. Groundwater potential in the crystalline basement of Zimbabwe's aquifers.

17. <https://en.eijkelkamp.com/news/news/the-importance-of-groundwater-monitoring.html>

18. Gaye, C.B., Tindimugaya, C. Review: Challenges and opportunities for sustainable groundwater management in Africa. Hydrogeology Journal volume 27, pages 1099–1110 (2019)

19. [https://www.groundwatersoftware.com/Solinst\\_9100\\_telemetry](https://www.groundwatersoftware.com/Solinst_9100_telemetry)

20. <https://www.iagdelnorte.com.mx/wp-content/uploads/2015/05/GF6-Equipment-Pamphlet-2015.pdf>

21. Food and Agricultural Organization, (Zimbabwe water resources report 2012)

22. <https://fitsmallbusiness.com/workplacesafetytips/#:~:text=Top%2019%20Workplace%20Safety%20Tips%20from%20the%20Pros,the%20Smallest%20of%20Tasks.%20...%20More%20items...%20>

23. <https://www.worldatlas.com/maps/zimbabwe>

24. Morris, B.L., Lawrence, A.R.L., Chilton, P.J.C., Adams, B., Calow, R.C., Klinck, B.A., 2003. Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the problem and Options for Management. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya

25. MacDonald, A.M., Bonsor, H.C., Dochartaigh, B.É.Ó. and Taylor, R.G., 2012. Quantitative Maps of Groundwater Resources in Africa. Environmental Research Letters, 7(2):024009. In Press: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/02400> [Accessed October 13, 2015].

26. Liu, T., Yan, H., Zhai, L., 2015. Extract Relevant Features from Dem for Groundwater Potential Mapping. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(7), 113. In Press: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W4-113-2015> [Accessed October 13, 2015]

27. Fenta, A.A., Kifle, A., Gebreyohannes, T., Hailu, G., 2015. Spatial Analysis of Groundwater Potential Using Remote Sensing and GIS-Based Multi-Criteria Evaluation in Raya Valley, Northern Ethiopia. Hydrogeology Journal, 23: 195-206

28. Gupta, N., 2014. Groundwater Vulnerability Assessment using DRASTIC Method in Jabalpur District of Madhya Pradesh. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 3(3): 36-43.
29. UN-Water/Africa, 2010. The Africa Water Vision for 2025: Equitable and Sustainable Use of Water for Socio-economic Development, Addis Ababa, Ethiopia, Published by the Economic Commission for Africa. Retrieved from: [http://www.unwater.org/downloads/African\\_Water\\_Vision\\_2025.pdf](http://www.unwater.org/downloads/African_Water_Vision_2025.pdf) [Accessed March 13, 2016]
30. Martinelli, E., 1984. National Master Plan for Rural Water Supply and Sanitation. Report of Ministry of Energy and Water Resources, Government of Zimbabwe. Retrieved from: <https://wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/CSO-Zimbabwe.pdf> [Accessed July 13, 2015].
31. Roscoe, M.O., 1990. Handbook of Groundwater Development, Wiley, New York. Retrieved from: <http://www.abebooks.com/book-search/author/roscoe-moss-company/>, [Accessed May 23, 2016].
32. Magesh, N.S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J.P., 2012. Delineation of Groundwater Potential Zones in Theni District, Tamil Nadu, Using Remote Sensing, GIS and MIF Techniques. *Geoscience Frontiers*, 3(2): 189-196
33. Nejad, S.G., Falah, F., Daneshfar, M., Haghizadeh, A., Rahmati, O., 2015. Delineation of Groundwater Potential Zones Using Remote Sensing and Gis-Based Data Driven Models. *Geocarto International*, pp.1-21.
34. Chuma, C., Orimoogunje, O.O.I., Hlatywayo, D.J., Akinyede, J.O., 2013. Application of Remote Sensing and Geographical Information Systems in Determining the Groundwater Potential in the Crystalline Basement of Bulawayo Metropolitan Area, Zimbabwe. *Advances in Remote Sensing*, 2: 149-161.
35. Sreela, R., Girish, G., Reji, S., Rajesh, R. and Kurian, S., 2013. Demarcation of groundwater prospective zones in humid tropical river basin: A geospatial approach. *Iranian Journal of Earth Sciences*, vol. 5(1), pp. 1-12.
36. Fashae, O.A., Tijani, M.N., Talabi, A.O. and Adedeji, O.I., 2013. Delineation of groundwater potential zones in the crystalline basement terrain of SW-Nigeria: an integrated GIS and remote sensing approach. *Applied Water Science*, vol. 4(1), pp. 19-38
37. Leduc, C., Favreau, G. and Schroeter, P., 2001. Long-term rise in a Sahelian water table: The Continental Terminal in southwest Niger. *Journal of Hydrology*, vol. 243, pp. 43–54.

38. Rahmati, O., Samani, A.N., Mahdavi, M., Pourghasemi, H.R., Zeinivand, H., 2014. Groundwater Potential Mapping at Kurdistan Region of Iran Using Analytic Hierarchy Process and GIS. Arabian Journal of Geosciences, 8(9): 7059-7071
39. Chikodzi D (2013) Groundwater Resources of Zimbabwe: An Assessment of Fluctuations. 2: 629 doi
40. Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев. (2014) финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, стр.74
41. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утверждено Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа . - <http://www.cfin.ru/>
42. "Трудовой кодекс Российской Федерации |," 2001.
43. СНиП 12-03-2001 "Безопасность труда в строительстве.
44. СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ / Санитарно-эпидемиологические правила.
45. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1) <http://docs.cntd.ru/document/1>
46. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
47. ГОСТ 12.1.003-83 (СТ СЭВ 1930-79) "Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности"
48. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 <http://docs.cntd.ru/document/456054205>
49. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах "
50. ГОСТ 12.1.006-84 ссбт электромагнитные поля радиочастот допустимые уровни.

51. СанПиН 2.2.2\_2.4.1340-03 ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПЭВМ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ
52. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1) <http://docs.cntd.ru/document/5200289>
52. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1) <http://doc>
54. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1) <http://docs.cntd.ru/document/1200071156>.
55. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений <http://docs.cntd.ru/document/1200105707>
56. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.т Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* <http://docs.cntd.ru/document/456054197>
57. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>.
- 58.. ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация <http://docs.cntd.ru/document/5200292>
59. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1) <http://docs.cntd.ru/document/1>
60. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 <http://docs.cntd.ru/document/456054205>
61. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты <http://docs.cntd.ru/document/1200161238>
62. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1) <http://doc>

63. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1) <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-004-91-ssbt>

64. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1) <http://docs.cntd.ru/document/12000711562>

65. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" <https://legalacts.ru/doc/pismo-rospotrebnadzora-ot-15032021-n-024905-2021-23-o-primenenii-sanpin>.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

### Use of Remote Sensing Data to Study Search Criteria and Signs of Groundwater Deposits in Save River Catchment Basin (Zimbabwe, Africa)

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2BM92	Мламбо Питер		

Консультант школы отделения (геологии) ИШПР \_\_\_\_\_:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГ	Кузеванов К. И	К.Г.-М.Н		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Утятина Янина Викторовна			

# 1. Physical and geographical characteristics of Save river catchment area

## 1.1 Study area location

Save catchment, the area under study is located in south-eastern Zimbabwe from 17.5° C to 22.5° C and from 30° E to 33° E. The Save river catchment area covers an area of 48,564 square kilometers, which is divided into five administrative provinces: Manicaland, Masvingo, Midlands, Mashonaland East and Matabeleland. Save river is about 740 kilometers long [13]

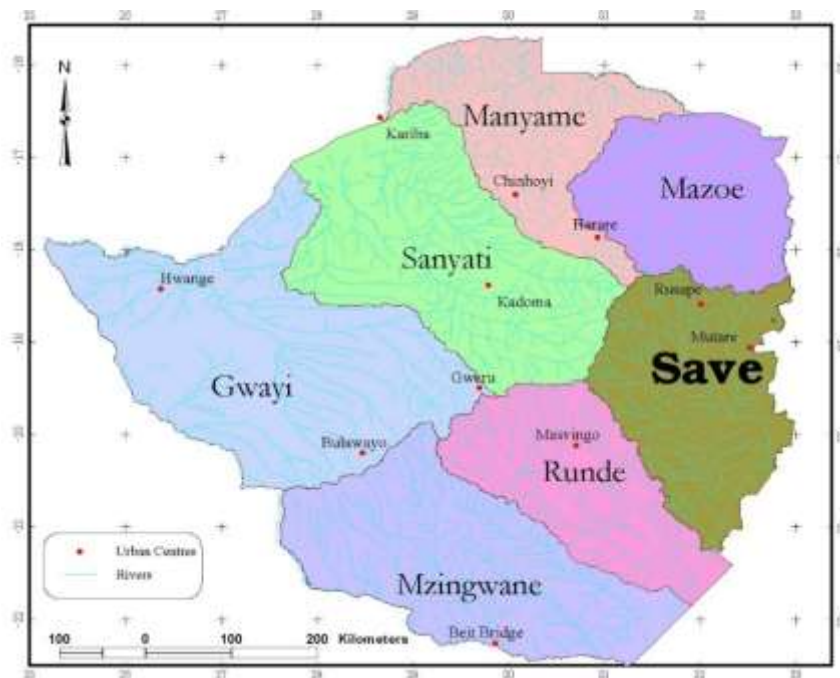


Figure 1. Geographical location of Save catchment area [1]

The eastern part of the catchment area rises to about 2,000 meters above sea level, while the lowveld, is 500 meters above sea level. The mountainous region receives rainfall up to 2000 mm / year [21]. This falls to an average of 400-600 mm per year in the lowveld, which also experiences high precipitation variability.

The catchment is divided into 8 catchments according to the main river systems, namely Macheke, Budzi, Deure, Lower Save-east, Lower Save-west, Odzi, Pungwe and Upper Save. There are 26 hydrological subzones with an area of 100 to 4719 km<sup>2</sup> (Figure 2) below.

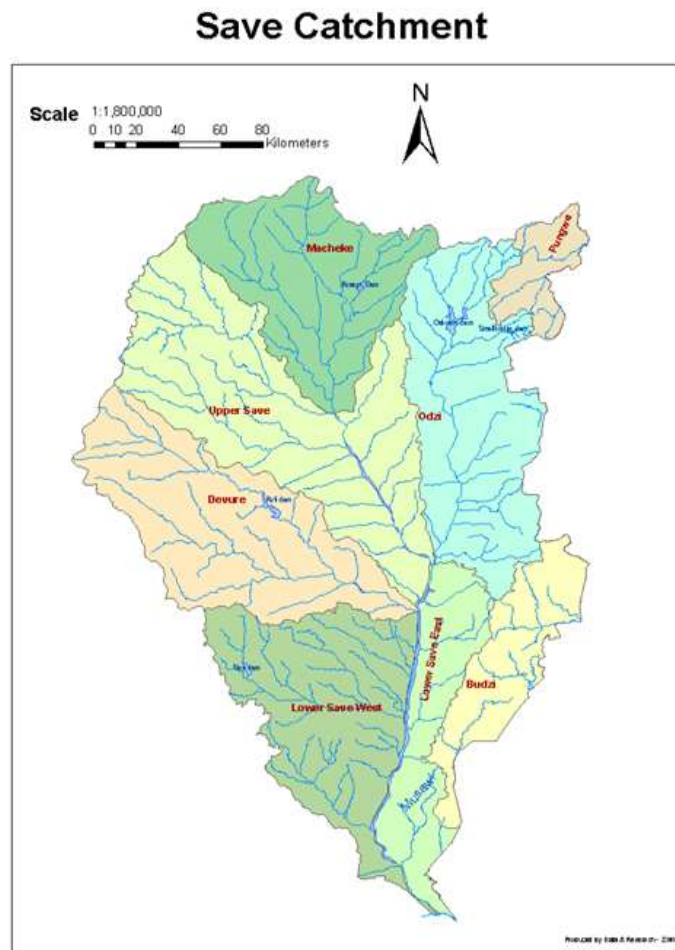


Figure 2. Save river basin sub-catchments

## 1.2 Population, land use and socio-economic activities

According to the 2012 census, Manicaland province, which is the dominant province in the catchment area, has a population of 1,752,698, of which only 296,559 are urban areas and the remaining 1,456,139 are rural areas. As shown in figure 1 below, the catchment consists of 39% communal areas, 35% large-scale commercial farming areas, 13% small-scale commercial farming areas, 1.5% resettlement schemes, 1.5% State land, 3.5% parks and wildlife areas, and 6.5% forest reserves.

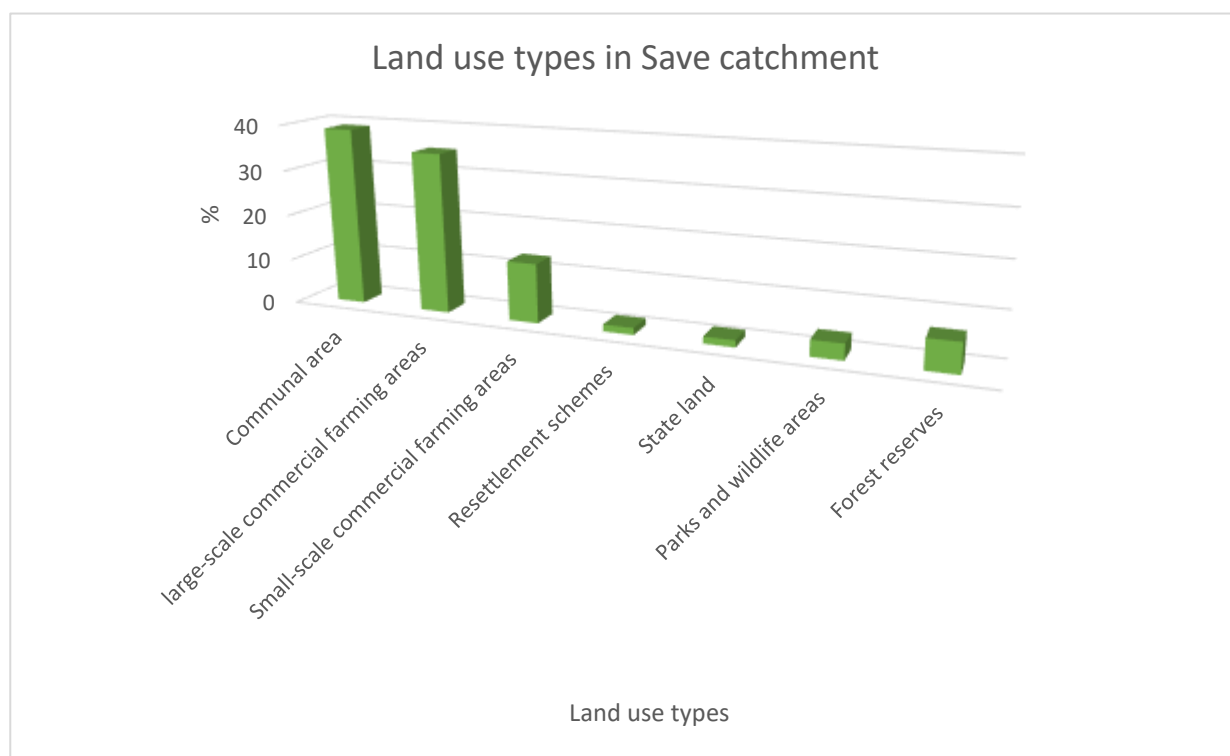


Figure 3. Land use sectors in the Save catchment area.

The major economic activity in the catchment is agriculture. In the Eastern Highlands or Natural region 1, which is characterized by very high rainfall, there are large plantations specializing in Forestry, wattle, tea, coffee, deciduous fruits, barley and potato production. The major companies being Tanganda Tea estates, Wattle Company, Border Timbers and Forestry commission. Intensive beef and dairy farming are also practised in this region. The region covers the Pungwe, Odzi and Budzi sub catchments.

The major manufacturing industries are located in the City of Mutare and they mostly specialize in the manufacturing of foodstuffs, paper and printing and furniture. Other notable industries are the oil refinery and the car assembly plants. The major mines in the Catchment are Chiadzwa Diamond mine, Bikita minerals, Redwing, Dawn mine and Dorowa minerals and there are involved in the mining of diamond, lithium, gold and phosphate.

### **1.3 Climate**

The rainy season in the catchment, as in the country, lasts from October to April, with most of the precipitation falling in February. The period from May to September is usually dry, with very little or no precipitation. The average annual precipitation in the catchment area is 899 mm, but geographically ranges from 2,000 mm / year in the mountainous region of the Eastern Highlands to about 410 mm / year in the lowveld area in the south [21]. The winter season lasts from April to August, and the hottest and driest period is from September to mid-November. The average annual evaporation for the catchment is 1,720 mm / year, but geographically, as with precipitation, ranges from 1,200 mm / year in the Eastern Highlands to about 2,000 mm / year in the lowveld area in the south.

## 1.4 Relief

Save catchment consists of a section of high inland plateau that descends from the northeast to Inyangani mountains, passing into lowlands in the south and southwest of areas such as the Maparadze area. As shown by the yellow triangle on the physical map below (Figure 4), Mount Inyangani at 2,592m is the highest point in the catchment area and Zimbabwe as a whole, and the lowest point is located at the intersection of Runde and Save rivers at 162 m, again shown by a yellow triangle on the map.



Figure 4. Physical map showing the highest and lowest points in Zimbabwe [23]

## 1.5 Geology

The geology of Save catchment is dominated by the Precambrian basement complex. It is characterized by vast areas of gneissose rocks into which younger granite bodies of various sizes have been intruded, including Proterozoic granites, and granodiorites, adamellites and tonalites of the Younger Intrusive Granites. The weathering intensity ranges from 30 to 35 m. As shown on the map (Figure 5) below, the catchment area consists of a number of rocks, such as dolomites, green stone belt, basalts, sandstone, mudstones, etc. However, most of the catchment area is characterized by granitic and gneiss rocks.

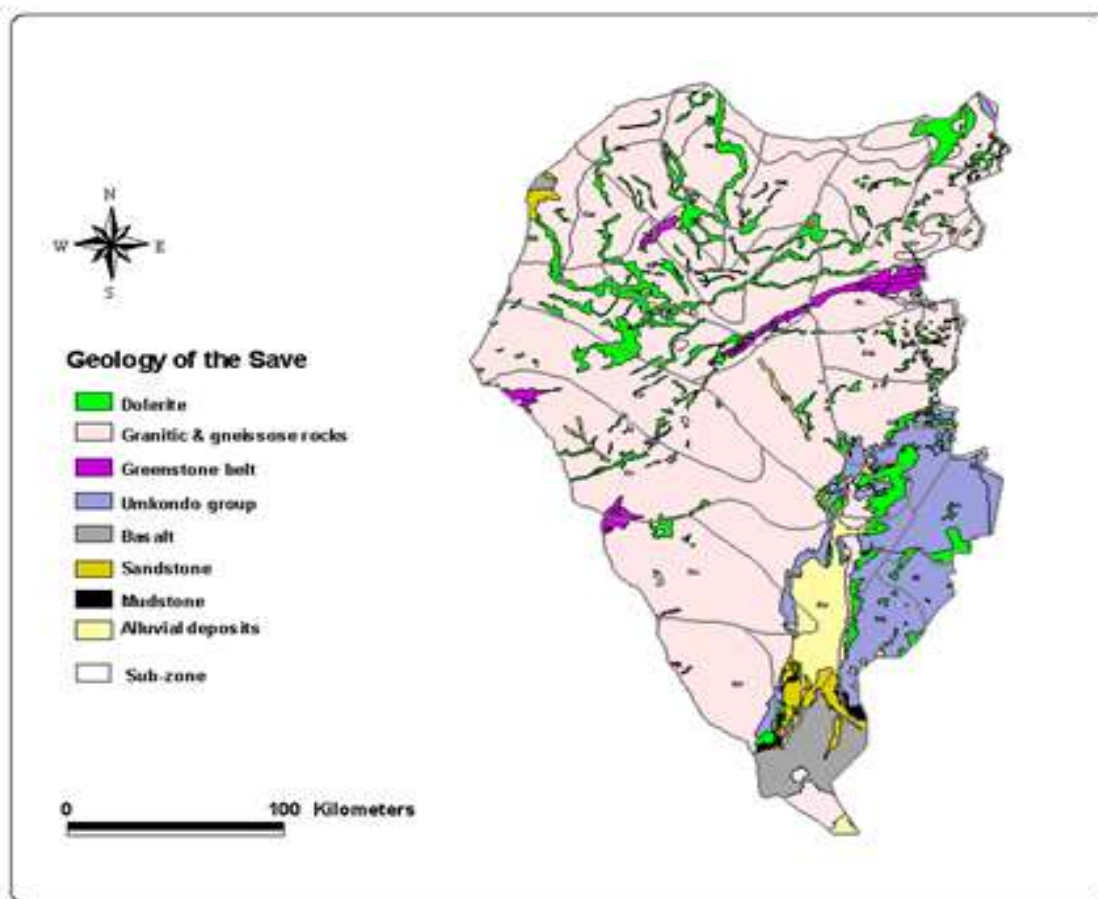


Figure 5. The geology of Save Catchment

The catchment also contains a small portion of unconsolidated sedimentary strata of alluvial clay, sand, and gravel of varying thickness. For example, in the Save river valley, the thickness of the alluvium is about 70-80 m.

## 1.6 Soil and Vegetation cover

The soils are diverse throughout the catchment landscape, but mostly sealite and soda, and the source material of the latter is relatively rich in sodium and releases weather-resistant minerals. The different types of soils in the catchment arise from different types of parent rocks, as well as different weathering processes.

On (Fig.6) below is a soil map showing some of the other common soil types in the catchment area. The catchment is mainly dominated by LV-Luvisol (arginine horizon with a clay subsurface zone) in all its central regions. The western side of the catchment consist of AR-Arenosol (sandy-textured soils), and the Southeastern part of



the catchment consists of CM-Cambisol (sandy loam or thinner soils) [4].

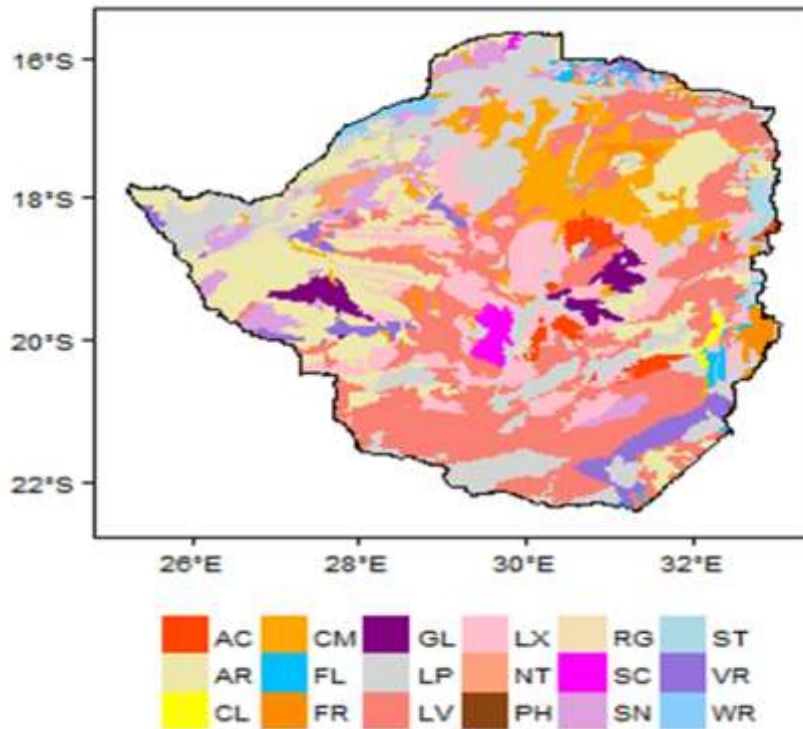


Figure 6. Soil types of Zimbabwe [4]

The natural vegetation in south-eastern Zimbabwe ranges from native forests to open grasslands, but mainly includes Savanna and thickets. The upper reaches of the catchment are characterized by a mountainous ecology, where they are limited to exotic tree stands and miombo woodlands. This is in contrast to the lowveld area, which is barren, hot and dry. Dry Savanna dominates the low veld. The dominant plant species are *Colo-phospermum mopane*, *Terminalia sericea*, and acacia species.

## 1.7 Save catchment water resources situation

### 1.7.1 Surface water resources

Save catchment is divided into eight sub-catchments according to the main river systems, namely Macheke, Budzi, Deure, Lower Save East, Lower Save West, Odzi, Pungwe and Upper Save. There are 26 hydrological subzones with an area of 100 to 4719 km<sup>2</sup>. The Save Catchment comprises of two major drainage systems, the Save river drainage system and the small drainage systems of the Eastern Highlands. The Save river drainage system comprises mainly of the river itself and its tributaries,



basically rivers located in the E Hydrological sub zones. The other drainage system comprises of a conglomeration of various rivers namely the Pungwe, Honde, Budzi and Nyamakwavara rivers, in the Eastern Highlands which flow into Mozambique, or rivers located in the F zone.[8]

The Save River rises near Featherstone, some 65 kilometers South-West of Marondera, at an altitude of approximately 1 450 metres above sea level in a 600 mm to 700 mm rainfall area. It flows South-Eastwards for approximately half of its 400 kilometers length and then Southwards before it joins the Runde River at an altitude of only some 160 metres above sea level, and enters Mozambique.

Up to its confluence with the Runde River, the Save drains a catchment area of some 43 494 square kilometers in which the average rainfall varies from over 1 200 mm per annum at the headwaters of the Odzi and Odzani Rivers to 300 to 400 mm in the lower Save area [8].

The main tributaries of the Save River are:

- In its upper reaches, the Ruzawi River which drains a catchment area of 2 137 square kilometers;
- in its middle reaches, the Macheke and Mwerihari Rivers which drain catchment areas of 4 316 and 2 587 square kilometers respectively;
- the Odzi and Deure Rivers, which join the main river above the mid and lower Save plain, and which drain catchment areas of 7 333 and 8 224 square kilometers respectively.
- In its lower reaches, the Turgwe and Mkwesine Rivers which drain catchment areas of 3 134 and 1 577 square kilometers respectively.

The Pungwe River rises 3 kilometers north-west of Mount Inyanga at an altitude of 2 120 m. It flows in an easterly direction until it crosses the Mozambique border at an altitude of 600 m above sea level. The river has a catchment area of 644 square kilometers and the average annual rainfall in the catchment varies from over 1200 mm at its headwaters to 600 mm at the border.

The Honde River rises at an altitude of 1 440 metres above sea level at Watsomba Village in the Tsonzo Purchase Land. The river has a catchment area of 366 square kilometers and the rainfall in the catchment varies from over 1 200 mm at its headwaters to 1000 mm where the river crosses the border [8].

The Nyamakwavara River rises at an altitude of 1 740 metres above sea level in the Stapleford Forest north of Mutare. The river, which has a catchment area of 220 square kilometers, occupies the same sub-zone as the Honde River and thus has similar characteristics of high rainfall.

The Budzi River rises at an altitude of 1 160 metres above sea level in Whittington Valleys north west of Chipinge, it then drains in a south easterly direction into Mozambique. The river has an approximate catchment area of 600 square kilometers and the rainfall in the catchment varies from over 1 115 mm at its headwaters to 979 mm where the river crosses the border [8].

### **1.7.2 Hydrogeological conditions of Save catchment area**

Taking into account the map of the countries ' groundwater potential zones (Figure 7), the catchment consists mainly of 4 types of aquifers, which range from regions with high groundwater potential to regions with low groundwater potential.

It is mainly characterized by a basement complex aquifer that covers almost 60% of the catchment area and is located mainly in the Western and central parts of the catchment, in areas such as Buhera, Hwedza and Rusape. This aquifer is divided into two hydrogeological subgroups:

- Granite and gneiss below the African erosion surface; and
- Granite and gneiss below Post-African and Pliocene Quaternary erosion surfaces.

These aquifers have a low potential for groundwater development. The thickness of the aquifer is about 30-50 meters, boreholes are usually drilled to a depth of 40-50 meters. Sustainable borehole yields are in the region of 50-100 m<sup>3</sup> / day, transmissivity is low to moderate (<10 m<sup>2</sup>/d) and specific capacity is moderate (30-50 m<sup>3</sup>/d/m).

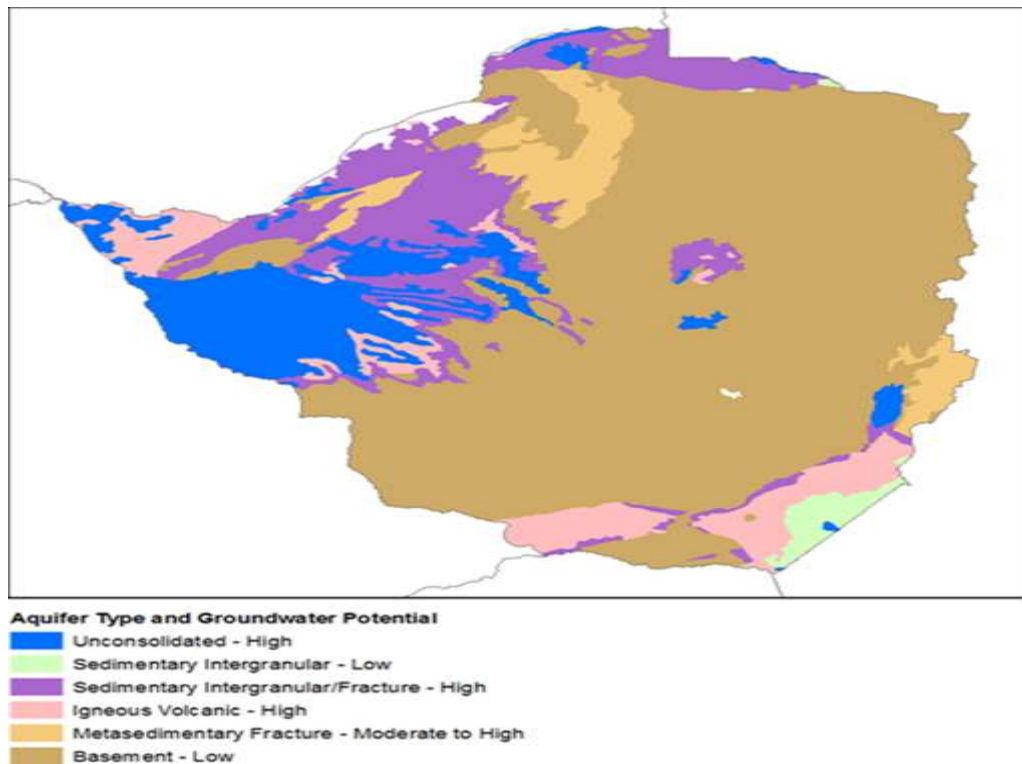


Figure 7. Aquifer type and groundwater potential of Zimbabwe [4]

The metasedimentary fractured aquifer type is the second most common aquifer in the catchment area. This type of aquifer exists within Precambrian sediments. Aquifer exist mainly due to karst features in the calcareous rocks of the Dolomite formations (massive limestones). Weathering of shale horizons in limestone also increases the potential for groundwater storage and flow. The average specific capacity of boreholes is  $505 \text{ m}^3 / \text{day} / \text{m}$ . Typical well depths range from 60 to 80 m. The water quality has a weakly expressed calcium-magnesium character. [4]

From the Metasedimentary Fractured Aquifer type, we have the sedimentary intergranular / fractured aquifer type. It occupies a small catchment area and consists of a sloping sand-enclosed aquifer with a high potential for groundwater development. Boreholes usually have a depth of 30-100 m, and the water level is about 10-15 m and more than 20 m, respectively. The yield ranges from 1.2 to 3.5 l/s. The most productive aquifer in Save catchment is the unconsolidated aquifer type. This aquifer also occupies a small part of the catchment area and is located in areas such as Gudyanga, Tonhorai, Changazi, Mutema and Chibuwe, where these communities border with Save River. Boreholes drilled along Save riverbed are highly productive, indicating the high

groundwater potential of the unconsolidated aquifer. Boreholes on Save river alluvial deposits have a depth of 20-70 m and provide yields of 100-5000 m<sup>3</sup> / day.

#### **1.7.2.1 Save catchment groundwater chemical composition**

The quality of ground water throughout the Save catchment area is generally good and usually does not pose any constraint to use for human consumption. Of the components that pose a health risk, several cases of high nitrate content are attributed to poor well construction. Lenses of brackish water occur in the alluvium of the Save river, which may be fossil water and/or water recharging via the adjacent Karoo strata [4]. Water from the Precambrian meta-deposited aquifer (Chimanimani area) is generally good, although it has a slightly hard calcium-magnesium character. From the Precambrian basement aquifer, the water quality is also good with a total dissolved solids concentration below 1000 mg / L and no reported fluoride hazard. In conclusion, it can be safely concluded that, the quality of groundwater in the Save catchment area is generally good and safe for human consumption with a total concentration of dissolved solids below 1000 mg /l.